

В.В. Хрипушин, Н.Я. Мокшина,
А.С. Ефимов, Н.Д. Морозов
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф.
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ НА ОСНОВАНИИ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАМЕТРА ФЕРЕТА

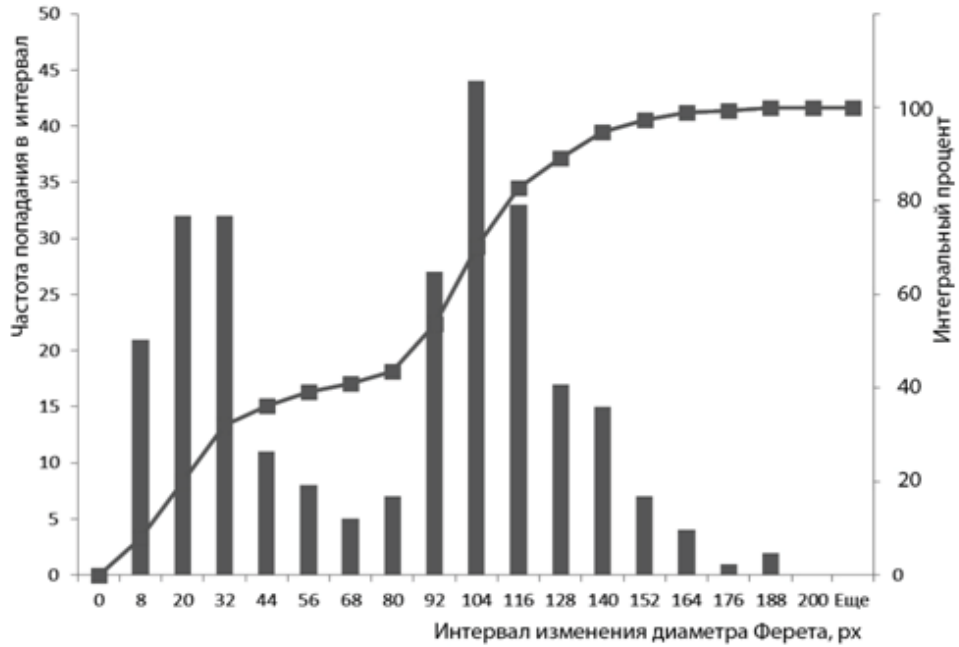
В настоящее время активно развиваются методы машинного зрения, разновидностью которых является морфологический анализ цифровых изображений. Этим методом можно установить количественные соотношения между морфологическими показателями и качеством продукции, что обуславливает актуальность исследования в качественном и количественном анализе материалов, в том числе и для применяемых в цикле 3D-печати методом селективного лазерного спекания [1].

Объекты исследования – порошки из гетероцепного алифатического полимера полиамида-12 (ПА-12) двух типов: не участвовавший в печати (первичный) и прошедший через принтер, но не использованный для построения 3D-модели (вторичный). ПА-12 представляет собой линейный полимер белого цвета, получаемый полимеризацией лактама аминокислоты додекановой кислоты в присутствии воды и катализаторов. Изделия из ПА-12 работоспособны при температуре от -60 до 60 °С, кратковременно – при 120 °С, их водопоглощение не превышает 2,0%.

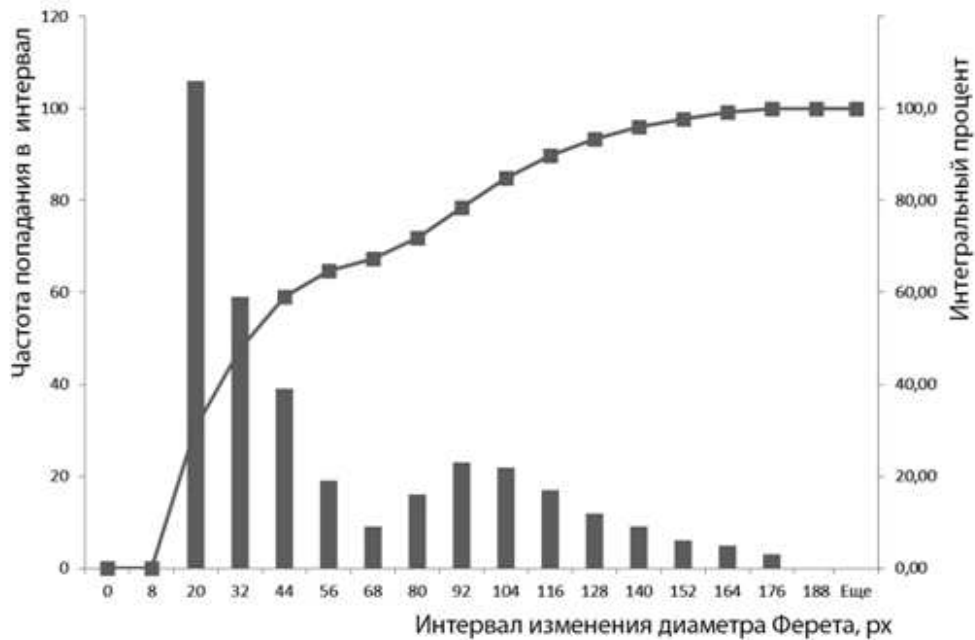
Первичные порошки согласно технологии, рекомендованной 3D-принтеров, включали в свой состав 80% чистого порошка ПА-12 и 20% порошка, оставшегося после первого цикла печати. Вторичные порошки состояли только из порошка для 3D-печати, оставшегося после первого цикла печати. Цифровые изображения полимерных образцов получены с использованием оптического микроскопа, снабжённого цифровой окулярной камерой. Разрешение камеры – 200 dpi, глубина цвета – TrueColor (32 bit), формат – jpg. Морфологический анализ выполнен с помощью программы ImageJ 1.45s, статистическая обработка - в среде табличного процессора Excel [2,3].

Для количественной оценки параметров изображения, наиболее чувствительных к изменениям между первичным и вторичным порошком, проведён корреляционный анализ и установлено [2], что самыми репрезентативными являются площадь частицы и расстояние между двумя параллельными касательными к контуру частицы (диаметр Ферета) [3]. Результаты показаний корреляционной матрицы

соответствуют визуальному анализу гистограмм и предоставляют количественную оценку исследуемых параметров (табл.). Значение коэффициента корреляции обратно пропорционально снижению качества вторичного порошка.



а)



б)

Рис. Гистограммы распределения диаметра Ферета частиц первичного (а) и вторичного (б) порошков

Таблица – Корреляционная матрица для выбранных параметров первичного (1) и вторичного (2) порошков

	Площадь1	Площадь2	Ферет1	Ферет2
Площадь1	1			
Площадь2	0,685	1		
Ферет1	0,513	0,117	1	
Ферет2	0,479	0,131	0,761	1

На рис. приводятся гистограммы распределения диаметра Ферета частиц первичного и вторичного порошков. Результаты расчётов согласуются с расчётами на основе сравнения площадей частиц [2]: у повторно используемого порошка выявлено увеличение доли мелкой фракции, увеличение доли частиц неправильной формы и незначительное появление ассоциированных частиц. На правом пике гистограмм распределения диаметра Ферета очень хорошо заметно уменьшение относительного содержания порошка с референтным размером, заявленным производителем.

Коэффициент корреляции между данными диаметра Ферета первичного и вторичного порошков (0,761) больше, чем коэффициент корреляции площади частиц (0,685), но его также можно использовать в качестве аналитического сигнала качества порошковой смеси: при понижении коэффициента корреляции ниже предела, определяемого экспертным путём, данный вторичный порошок применять не рекомендуется из-за высокой вероятности брака.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петрушин, С.И. [Технологии послойного синтеза изделий-прототипов методом селективного лазерного спекания порошков](#) / С.И. Петрушин, А.А. Сапрыкин, А.В. Вальтер, Н.А. Сапрыкина // [Технология машиностроения](#). –2015. – № 3. – С. 42–45.
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.
3. Хрипушин, В.В. Влияние 3D-печати на свойства порошков на основе полиамида-12 / В.В. Хрипушин, Н.Я. Мокшина, Ю.Ф. Шутилин, М.С. Щербакова // Химическая технология. – 2020. – Т. 21, № 5. – С. 205–209.