

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МИКРОФОТОГРАФИЙ ПОЛИАМИДНЫХ ПОРОШКОВ

В связи с реализацией технологической концепции цифровой фабрики активно развиваются аддитивные цифровые технологии, основанные на послойном наращивании структуры деталей, актуальным представляется разработка экспресс-методов анализа расходных материалов для 3D-печати.

В работе исследовался первичный и вторичный порошок на основе полиамида-12 марки PA2200 (рис.1), предназначенный для изготовления изделий методом селективного лазерного спекания (SLS).

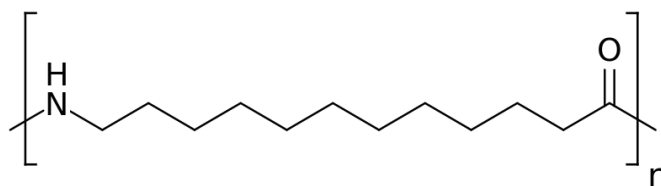


Рисунок 1 – Структурная формула полиамада-12

Цифровые изображения полимерных образцов получены в проходящем свете с использованием оптического микроскопа CarlZeissJena ERGAVAL, снабженного цифровой окулярной камерой MYscore 300 M фирмы Webbers. Оптическое увеличение - 100×, среда - воздух. Первичную обработку изображений осуществляли в программе ScoreFoto, прилагаемой к окулярной камере. Съемку проводили в режиме True color с разрешением 300 dpi (рис 2). Морфологический анализ выполняли с использованием программы ImageJ 1.45s и табличного процессора Excel [1].

Постобработка цифровых изображений состояла в ручном регулировании яркости и контрастности, выделении проекций частиц полимерного порошка (т.н. thresholding), фильтровании краевых объектов и объектов с «дырами».

Далее строилось графическое представление с заменых объектов эллипсами равной площади. Изображение с эллипсами позволяло наглядно отбраковывать неудачные кадры: перекрывающиеся эллипсы говорили о неверном отсеивании объектов [2].

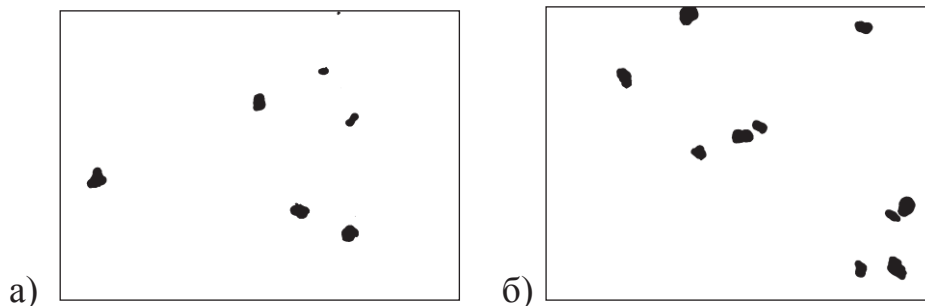


Рисунок 2 - Микрофотографии частиц первичного (а) и вторичного (б) порошков на основе полиамида-12

Дальнейшие расчеты проводились в среде табличного процесса Excel с установленным пакетом “Анализ данных”. Для визуального представления распределения статистических параметров данные отображались в виде гистограмм, где по оси абсцисс откладывались интервалы значений параметров, а по оси ординат - частота появления частиц, соответствующих значениям в выбранном интервале.

Сравнением рассчитанных в программе ImageJ параметров выявлено, что наиболее чувствительными к изменениям являются площадь частицы, диаметр Ферета (расстояние между двумя параллельными касательными к контуру частицы) и асимметричность (мера неправильности формы частицы). Анализируя гистограммы по этим параметрам, можно сделать вывод о заметных различиях между первичным и вторичным порошком: количество частиц размера, заявленного производителем, заметно снизилось, появилось большое количество частиц мелкой фракции и незначительное количество ассоциатов.

Для количественной оценки наиболее репрезентативных параметров, максимально чувствительных к изменениям для разных порошков, проведен корреляционный анализ с расчетом коэффициента корреляции (Пирсона) с помощью инструмента “Корреляция” пакета “Анализ данных”.

Результаты показаний корреляционной матрицы соответствуют визуальному анализу гистограмм и предоставляют количественную оценку исследуемых параметров (таблица).

У повторно используемого порошка выявлено увеличение доли мелкой фракции и доли частиц неправильной формы и незначительное появление ассоциатов зёрен порошка.

Анализ занимает примерно 30 минут, не требует специального оборудования и специализированного программного обеспечения, позволяет хранить результаты с возможностью повторного пересчёта и может быть рекомендован в качестве дополнительного экспресс-метода контроля качества расходных материалов для 3D-принтеров.

Таблица. Корреляционная матрица для выбранных параметров.

	Площадь1	Площадь2	Ассиметричность1	Ассиметричность2	Ферет1	Ферет2
Площадь1	1					
Площадь2	0,685	1				
Ассиметричность1	-0,273	-0,388	1			
Ассиметричность2	-0,539	-0,504	0,756	1		
Ферет1	0,513	0,117	-0,205	-0,377	1	
Ферет2	0,479	0,131	-0,181	-0,420	0,761	1

ЛИТЕРАТУРА

1. Хрипушин В.В., Мокшина Н.Я., Пахомова О.А. Оценка качества порошковых материалов для 3D-печати на основе полиамида-12 // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2018. Т.84. № 5. С. 36-40. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-5-36-40.
2. Шутилин Ю.Ф., Щербакова М.С., Хрипушин В.В., Борисова И.А. Изучение характеристик порошков полимеров для 3D-печати // Вестник ВГУИТ. 2017. Т.79. № 4. С. 1-9. DOI: 10.20914/2310-1202-2017-4-1-2.