

ВЛИЯНИЕ ТИПА И ПАРАМЕТРОВ ПОСТОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА НАПЕЧАТАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В отличие от аддитивного технологического процесса экструзии материала, в процессе фотополимеризации в ванне, когда процесс стереолитографии завершен, напечатанное изделие остается на рабочей платформе в «зеленом» состоянии. Деталь имеет конечную форму и вид, но реакция полимеризации не прошла до конца, следовательно, механические и термические свойства сформированы еще не полностью [1]. Дополнительное УФ-отверждение завершает полимеризацию и стабилизирует механические свойства, деталь достигает максимально возможной прочности и становится более стабильной. Параметры дополнительной засветки ультрафиолетом зависят от типа используемого фотополимера [1].

Для повышения прочности готовых изделий также проводят термическую обработку, в результате чего происходит изменение структуры и свойств материала, уменьшение внутренних напряжений, связанных с неравномерным отверждением слоев полимерного материала [2]. Термообработка проводится посредством нагрева и выдержки в печи в течение заданного периода времени при определенной температуре с последующим медленным и равномерным охлаждением до комнатной температуры.

Используя современные средства и методы, изучали влияние мощности, длительности УФ-излучения и продолжительность термообработки на свойства при растяжении напечатанных изделий из фотополимерного материала. Исследование проводили на примере инженерной высокотемпературной смолы *High Temp RS-F2-NTAM-01* от *Formlabs* (США).

Определение основных физико-механических характеристик выполняли в соответствии с ASTM D638-10 на образцах рекомендованной формы и размеров.

Печать образцов осуществляли на принтере *Form 2* компании *Formlabs*, реализующем процесс лазерной стереолитографии, расположение образцов по отношению к направлению синтеза под углом 45°, температурой 34°C, толщиной слоя 0,1 мм. Очистку напечатанных образцов от остатков жидкой композиции производили в машине

FormWash с использованием изопропилового спирта в течении 15 минут, по завершению механически удаляли поддержки.

Определение основных показателей прочности и упругости при растяжении производили на испытательной машине *MTS Criterion 43* с автоматической записью диаграмм деформирования.

Влияние продолжительности доотверждения изучали на образцах, подверженных УФ-излучению мощностью 39 Вт в машине *FormCure* при температуре 60°C в течение 15, 30, 60 и 80 мин.

Увеличение продолжительности выдержки под воздействием ультрафиолетового излучения приводит к однозначному повышению прочностных и упругих показателей при растяжении по отношению к «зеленым» образцам. Увеличение показателя прочности и модуля упругости при выдержке 80 мин по сравнению с «зелеными» отпечатками составляет 72 и 170% соответственно.

Мощность УФ-излучения изменяли в диапазоне 36–48 Вт, при этом продолжительность выдержки составила 60 мин. Результаты эксперимента показывают максимум для упругой постоянной при мощности 39 Вт. Повышение мощности до 48 Вт приводит к снижению модуля упругости при растяжении на 12%. Прочность при растяжении при этом не изменяется. Таким образом, повышение мощности выше 39 Вт не целесообразно.

Основываясь на рекомендациях производителя определили режим термообработки напечатанных образцов и диапазон времени выдержки для изучения его влияния на механические характеристики [3]: температура нагрева 160°C, время выдержки 30, 60 и 90 мин.

Термообработке подвергались «зеленые» образцы и обработанные УФ-излучением в течение 60 мин. При тепловом воздействии на «зеленые» образцы происходит деформация вместе с поддержками и появляются трещины (рисунок).

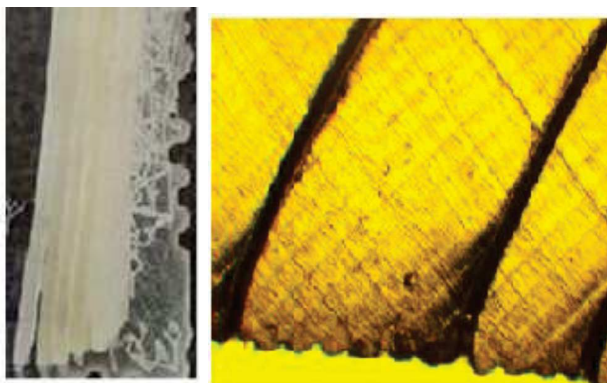


Рисунок – Трещины и сколы на «зеленых» образцах после термообработки

Результаты эксперимента показывают повышение прочности и

модуля упругости по отношению к УФ-обработанным образцам.

Установлено, что дополнительная обработка ультрафиолетом обязательна перед термообработкой в печи.

Таблица – Механические характеристики фотополимерных материалов

| Определяемые показатели | | Модуль упругости при растяжении, ГПа | Прочность при растяжении, МПа |
|--|-----------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Мощность УФ-излучения ($T = 60^{\circ}\text{C}$, $t = 60$ мин), Вт | 36 | 2,30 | 29,41 |
| | 39 | 2,40 | 34,99 |
| | 48 | 2,11 | 34,54 |
| Продолжительность УФ-обработки ($T = 60^{\circ}\text{C}$, мощность 39 Вт), мин | «Зеленый» | 1,21 | 25,39 |
| | 15 | 1,66 | 29,02 |
| | 30 | 2,10 | 29,87 |
| | 60 | 2,40 | 34,99 |
| | 80 | 3,27 | 43,71 |
| Продолжительность термообработки при $T = 160^{\circ}\text{C}$, мин | 30 | 3,26 | 46,64 |
| | 60 | 3,39 | 37,17 |
| | 90 | 3,58 | 40,48 |

Результаты эксперимента позволяют сделать вывод о необходимости проведения постобработки напечатанных изделий из фотополимерных смол для повышения механических свойств и подобрать оптимальные параметры и последовательность постобработки по критерию наилучшего сочетания свойств и затраченного времени: съем \Rightarrow промывка \Rightarrow УФ-дозасветка при 39 Вт в течение 60 мин при 60°C \Rightarrow удаление поддержек \Rightarrow термообработка при 160°C в течение 30 мин. При этом предел прочности в среднем увеличился на 35,7% при неизменяющемся значении модуля Юнга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Как обрабатывать детали из фотополимерной смолы после 3D печати SLA технологией. 3D постобработка [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://3dtool.ru> – Дата доступа 19.10.2021.
2. Внутренние и остаточные напряжения в 3D печати. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/> – Дата доступа 28.09.2021.
3. High Temp [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/High_Temp_Technical.pdf Дата доступа 28.09.2021.