

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС»

ИНСТИТУТ	ЭКОТЕХНОЛОГИЙ И ИНЖИНИРИНГА
КАФЕДРА	МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ
НАПРАВЛЕНИЕ	15.04.02 Технологические машины и оборудование

Отчет

на тему: “Анализ влияния размера номинального внутреннего диаметра отверстия и толщины стенки цилиндра на усадку внутреннего отверстия при печати на FFF 3D-принтере”

Студент: Фролов Н.В.

Группа: МТМО-22-3

Проверил: Тавитов А.Г.

Москва 2023

Содержание

Введение	3
Методология	4
Результаты	7
Вывод	11

Введение

При печати деталей с отверстиями на *FFF 3D*-принтере, возникает проблема с изменением диаметра, которая не дает точно садить валы, оси или метизы в отверстие.

Целью исследования являлось нахождение коэффициента изменения диаметра отверстия при печати детали на *FFF* принтере, поиск зависимости изменений диаметров отверстий. Поскольку пока не известно, влияет ли как-то толщина стенки на усадку, было принято решение взять две группы образцов: с постоянной толщиной стенки и с разной.

Изначально предполагалось, что усадка внутреннего диаметра цилиндра коррелирует с диаметром отверстия.

Методология

Моделирование образцов проходило в программе *Rhino 7 (Grasshopper)*. После чего все модели были переведены в *STL* формат для дальнейшей печати.

Исследование производилось на 3D-принтере *Ultimaker 3*, диаметр сопла – 0,4 мм, в качестве филамента был выбран *PLA*. Заполнение всех цилиндров – 15%. При изготовлении всех образцов печаталась юбка. Высота всех образцов была равной и составляла 10 мм.

Штангенциркулем были измерены: фактический внутренний диаметр цилиндра (D), фактический внешний диаметр (DS). После измерений были посчитаны: ΔD , ΔDS .

1. Разница между номинальным внутренним и фактическим внутренним диаметром:

$$\Delta D = d - D,$$

где d – номинальный внутренний диаметр цилиндра,
 D – фактический внутренний диаметр цилиндра.

Разница между номинальным внешним и фактическим внешним диаметром:

$$\Delta DS = ds - DS,$$

где ds – номинальный внешний диаметр цилиндра,
 DS – фактический внешний диаметр цилиндра.

Также, поскольку при печати на поверхности возникали неровности из-за несовершенства печати, измерить точное значение толщины стенки не представлялось возможным. Поэтому было принято решение посчитать приблизительное значение фактического значения толщины стенки, исходя из значений фактических внешнего и внутреннего диаметров:

$$\text{approx } S = \frac{DS - D}{2}.$$

В первой группе менялся ли внутренний диаметр отверстия, толщина стенки оставалась постоянной (рисунок 1, 2).

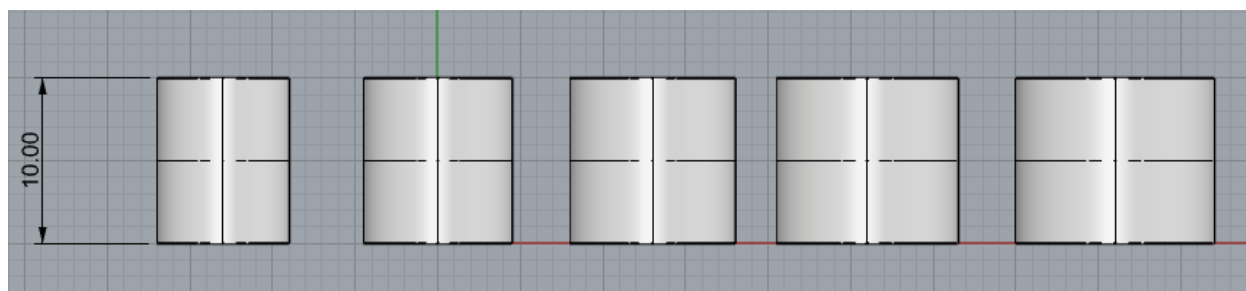


Рисунок 1 – Высота образцов первой группы

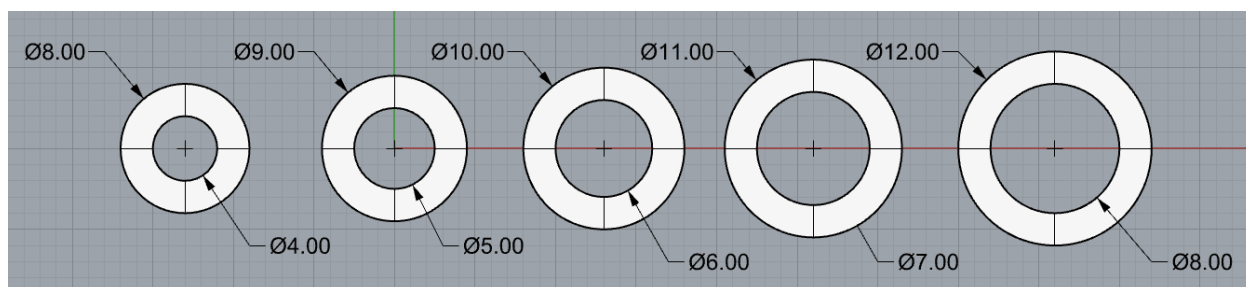


Рисунок 2 – Размеры образцов первой группы

Всего было изготовлено 19 образцов внутренним диаметром от 4 мм до 22 мм с шагом в 1 мм, толщина стенки для всех образцов – 2 мм.

Во второй группе менялся как внутренний диаметр, так и толщина стенки (рисунок 3).

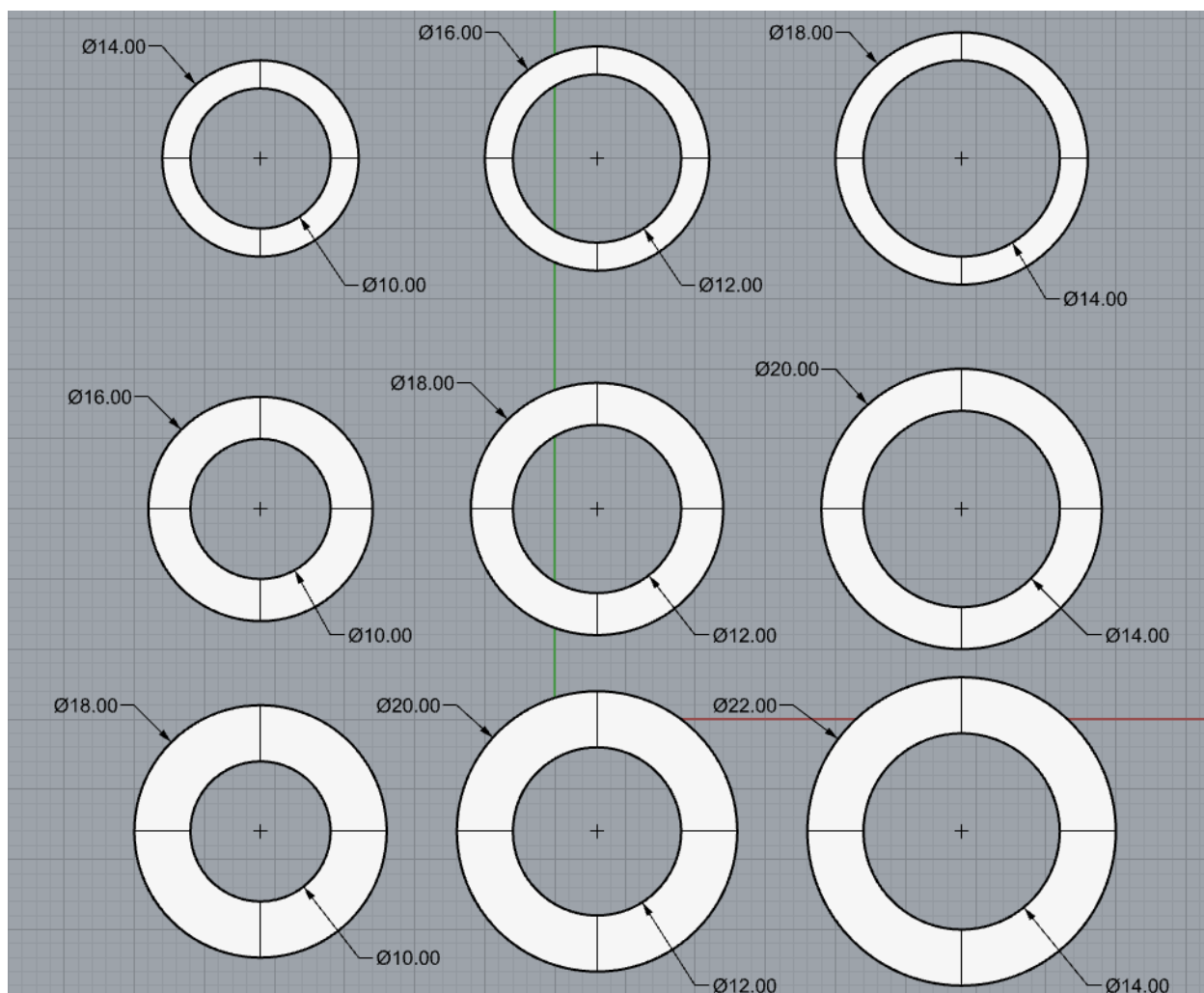


Рисунок 3 – Размеры образцов второй группы

Внутренние диаметры менялись в диапазоне от 10 мм до 22 мм с шагом в 2 мм, толщина стенки менялась от 2 мм до 8 мм с шагом в 1 мм.

Результаты

Для обеих групп образцов рассматривались зависимости как от фактического внутреннего диаметра (D), так и от разницы между номинальным и фактическим внутренним диаметром (ΔD).

В первой группе (таблица 1) можно заметить беспорядочный разброс значений ΔD , при увеличении внутреннего диаметра изменение диаметра может и увеличиться, так и уменьшиться (рисунок 4). Модель показывает отрицательную точность (-0,08), зависимости нет.

Таблица 1 – Первая группа образцов

№	d , мм	s , мм	ds , мм	h , мм	D , мм	DS , мм	ΔD , мм	ΔDS , мм
1	4,00	2,00	8,00	10,00	3,64	7,90	0,36	0,10
2	5,00	2,00	9,00	10,00	4,68	9,00	0,32	0,00
3	6,00	2,00	10,00	10,00	5,64	9,82	0,36	0,18
4	7,00	2,00	11,00	10,00	6,70	10,90	0,30	0,10
5	8,00	2,00	12,00	10,00	7,56	11,78	0,44	0,22
6	9,00	2,00	13,00	10,00	8,52	12,80	0,48	0,20
7	10,00	2,00	14,00	10,00	9,62	14,00	0,38	0,00
8	11,00	2,00	15,00	10,00	10,50	14,82	0,50	0,18
9	12,00	2,00	16,00	10,00	11,54	15,82	0,46	0,18
10	13,00	2,00	17,00	10,00	12,44	17,00	0,56	0,00
11	14,00	2,00	18,00	10,00	13,60	18,00	0,40	0,00
12	15,00	2,00	19,00	10,00	14,72	19,00	0,28	0,00
13	16,00	2,00	20,00	10,00	15,86	20,00	0,14	0,00
14	17,00	2,00	21,00	10,00	16,74	21,00	0,26	0,00
15	18,00	2,00	22,00	10,00	17,72	22,00	0,28	0,00
16	19,00	2,00	23,00	10,00	18,70	23,00	0,30	0,00
17	20,00	2,00	24,00	10,00	19,82	24,00	0,18	0,00
18	21,00	2,00	25,00	10,00	20,60	24,90	0,40	0,10
19	22,00	2,00	26,00	10,00	21,70	25,84	0,30	0,16

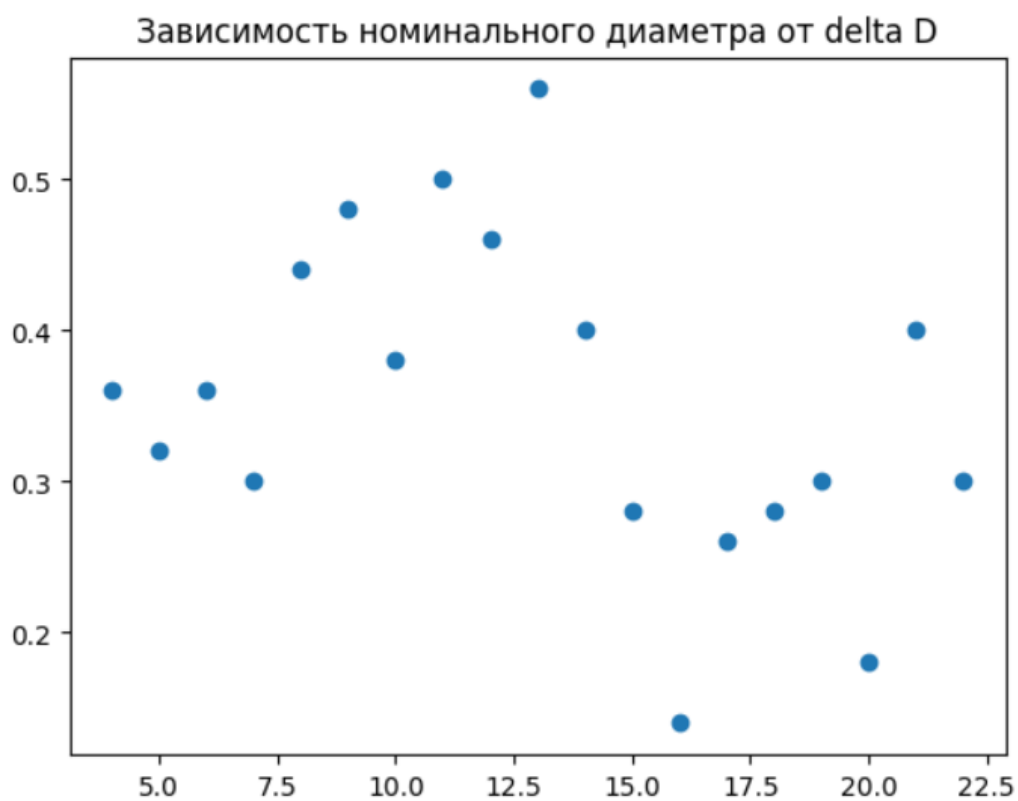


Рисунок 4 – Зависимость номинального диаметра от δD

При зависимости номинального внутреннего диаметра от фактического зависимость выглядит близко к линейной (рисунок 5)

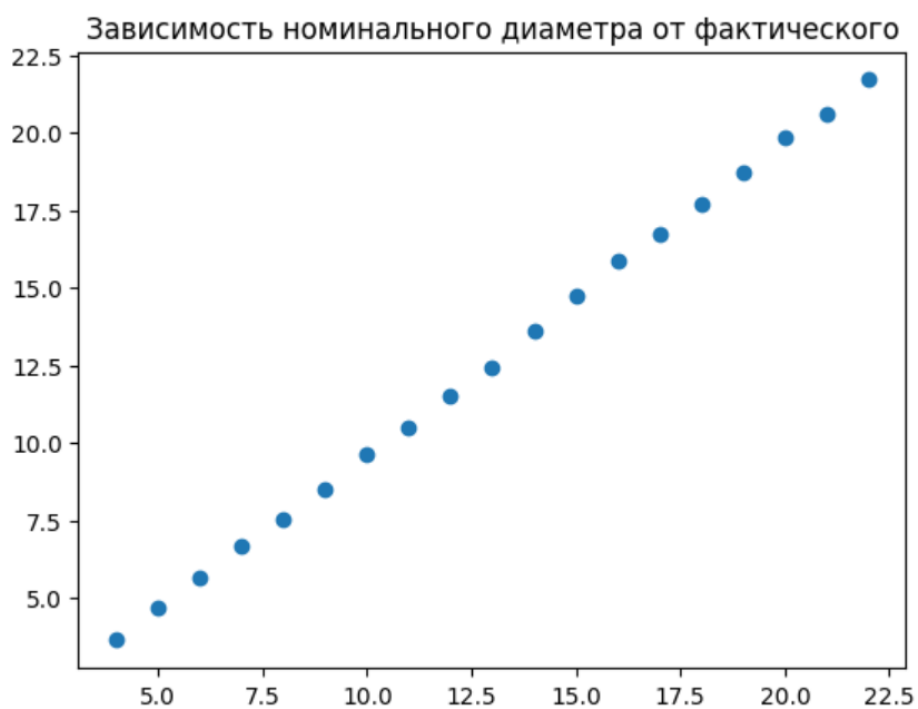


Рисунок 5 – Зависимость номинального диаметра от фактического

Вероятно, из-за малой выборки, точность у модели высокая (0,995), но такая зависимость дает большую погрешность при высоких значениях внутреннего диаметра. Например, уже при внутреннем диаметре 100 мм, модель предсказывает, что фактический диаметр будет 100,26 мм, то есть больше номинально, что маловероятно.

Во второй группе образцов (таблица 2) также не обнаружено зависимостей, и так же, как и в первой, при зависимости от фактического значения точность высокая (0,996), и так же при высоких значениях диаметра появляется большая погрешность.

При зависимости от ΔD точность модели отрицательная (-0,12), зависимости нет.

Таблица 2 – Вторая группа образцов

№	d , мм	s , мм	ds , мм	h , мм	D , мм	DS , мм	ΔD , мм	ΔDS , мм	$approx S$, мм
1	10,00	2,00	14,00	10,00	9,62	14,00	0,38	0,00	2,19
2	12,00	2,00	16,00	10,00	11,54	15,82	0,46	0,18	2,14
3	14,00	2,00	18,00	10,00	13,60	18,00	0,40	0,00	2,20
4	16,00	2,00	20,00	10,00	15,86	20,00	0,14	0,00	2,07
5	18,00	2,00	22,00	10,00	17,72	22,00	0,28	0,00	2,14
6	20,00	2,00	24,00	10,00	19,82	24,00	0,18	0,00	2,09
7	22,00	2,00	26,00	10,00	21,70	25,84	0,30	0,16	2,07
8	10,00	3,00	16,00	10,00	9,62	16,00	0,38	0,00	3,19
9	12,00	3,00	18,00	10,00	11,64	17,82	0,36	0,18	3,09
10	14,00	3,00	20,00	10,00	13,60	20,00	0,40	0,00	3,20
11	16,00	3,00	22,00	10,00	15,90	22,00	0,10	0,00	3,05
12	18,00	3,00	24,00	10,00	17,66	24,00	0,34	0,00	3,17
13	20,00	3,00	26,00	10,00	19,60	26,00	0,40	0,00	3,20
14	22,00	3,00	28,00	10,00	21,68	28,00	0,32	0,00	3,16
15	10,00	4,00	18,00	10,00	9,80	18,00	0,20	0,00	4,10
16	12,00	4,00	20,00	10,00	11,68	20,00	0,32	0,00	4,16
17	14,00	4,00	22,00	10,00	13,50	22,00	0,50	0,00	4,25
18	16,00	4,00	24,00	10,00	15,70	24,00	0,30	0,00	4,15
19	18,00	4,00	26,00	10,00	17,60	26,00	0,40	0,00	4,20
20	20,00	4,00	28,00	10,00	19,62	28,00	0,38	0,00	4,19
21	22,00	4,00	30,00	10,00	21,58	30,00	0,42	0,00	4,21
22	10,00	5,00	20,00	10,00	9,64	19,80	0,36	0,20	5,08
23	12,00	5,00	22,00	10,00	11,60	21,80	0,40	0,20	5,10
24	14,00	5,00	24,00	10,00	13,76	24,12	0,24	-0,12	5,18

25	16,00	5,00	26,00	10,00	15,80	26,10	0,20	-0,10	5,15
26	18,00	5,00	28,00	10,00	17,66	28,00	0,34	0,00	5,17
27	20,00	5,00	30,00	10,00	19,70	30,00	0,30	0,00	5,15
28	22,00	5,00	32,00	10,00	21,68	32,00	0,32	0,00	5,16
29	10,00	6,00	22,00	10,00	9,50	21,82	0,50	0,18	6,16
30	12,00	6,00	24,00	10,00	11,60	24,00	0,40	0,00	6,20
31	14,00	6,00	26,00	10,00	13,64	26,00	0,36	0,00	6,18
32	16,00	6,00	28,00	10,00	15,70	28,10	0,30	-0,10	6,20
33	18,00	6,00	30,00	10,00	17,70	30,00	0,30	0,00	6,15
34	20,00	6,00	32,00	10,00	19,62	32,06	0,38	-0,06	6,22
35	22,00	6,00	34,00	10,00	21,68	34,00	0,32	0,00	6,16
36	10,00	7,00	24,00	10,00	9,40	24,00	0,60	0,00	7,30
37	12,00	7,00	26,00	10,00	11,66	26,00	0,34	0,00	7,17
38	14,00	7,00	28,00	10,00	13,70	28,00	0,30	0,00	7,15
39	16,00	7,00	30,00	10,00	15,76	30,00	0,24	0,00	7,12
40	18,00	7,00	32,00	10,00	17,72	32,06	0,28	-0,06	7,17
41	20,00	7,00	34,00	10,00	19,60	34,00	0,40	0,00	7,20
42	22,00	7,00	36,00	10,00	21,68	36,00	0,32	0,00	7,16
43	10,00	8,00	26,00	10,00	9,70	26,00	0,30	0,00	8,15
44	12,00	8,00	28,00	10,00	11,70	28,00	0,30	0,00	8,15
45	14,00	8,00	30,00	10,00	13,64	30,00	0,36	0,00	8,18
46	16,00	8,00	32,00	10,00	15,78	32,10	0,22	-0,10	8,16
47	18,00	8,00	34,00	10,00	17,66	34,00	0,34	0,00	8,17
48	20,00	8,00	36,00	10,00	19,70	36,00	0,30	0,00	8,15
49	22,00	8,00	38,00	10,00	21,78	38,00	0,22	0,00	8,11

Вывод

Из имеющихся данным можно сделать вывод, что номинальный внутренний диаметр отверстия или толщина стенки не оказывает влияния на усадку отверстия при печати. Не было найдено коэффициента изменения, который бы помог в определении истинных размеров отверстия при печати.

Но также, стоит отметить, что значения усадки, за некоторым исключением, колебались в диапазоне 0,30 мм – 0,40 мм. Значения, что выбивались из этого диапазона, я бы списал на погрешности измерения или неточности при печати. Среднее значение ΔD в первой группе составил 0,3526 мм, а во второй 0,3306 мм.

Исходя из этого, чтобы выбрать оптимальный размер отверстия для печати, необходимо к номинальному размеру прибавить 0,30 мм – 0,40 мм:

$$D_{\text{отверстия для печати}} = d_{\text{ном}} + 0,35 \pm 0,05.$$