

УДК 339.35, 004.35
ББК 30.61
Р96

Рэдвуд Б., Шофер Ф., Гаррэт Б.

Р96 3D-печать. Практическое руководство / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 220 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-738-1

Книга посвящена стремительно развивающимся технологиям 3D-печати, которые находят свое применение во множестве отраслей: дизайне, строительстве, медицине и других. Помимо самих технологий и материалов печати рассматриваются характеристики различных 3D-принтеров, общие особенности 3D-моделей и методы их постобработки.

Благодаря многочисленным иллюстрациям читатель получает ёмкое представление о возможностях и ограничениях 3D-печати. Описание ряда проектных элементов представлено в удобной для восприятия табличной форме.

Издание адресовано широкому кругу специалистов, работа которых связана с изготовлением и использованием 3D-прототипов.

УДК 339.35, 004.35
ББК 30.61

Original English language edition published by 3D Hubs B.V., Amsterdam, The Netherlands. Copyright © 2017 3D Hubs B.V. Russian-language edition copyright © 2020 by DMK Press. All rights reserved.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-97060-738-1 (рус.)

Copyright © 2017 3D Hubs B.V.
© Оформление, издание, перевод, ДМК Пресс, 2020

Содержание

Благодарности	11
Предисловие	12
Введение	13
Часть I. Технологии и материалы 3D-печати	21
Глава 1. Введение в 3D-печать	22
1.1. Классификация технологий 3D-печати	22
1.2. Группы материалов для печати	24
1.2.1. Полимеры	24
Термопластики	25
Реактопласты	25
1.2.2. Металл	26
1.2.3. Другие материалы	26
Глава 2. Экструзия материала – FFF	28
2.1. Технологии экструзии материала	28
2.1.1. Производство методом плавления нити (FFF)	28
2.2. Характеристики принтера	28
2.2.1. Параметры принтера	28
2.2.2. Искривление	30
2.2.3. Межслойная адгезия	31
2.2.4. Поддержки	32
Растворимые поддержки	33
2.2.5. Заполнение	34
2.3. Точная размерность	34
2.4. Материалы	35
2.5. Постобработка	37
2.6. Преимущества и ограничения	38
2.7. Промышленная и настольная FFF-печать	39
2.8. Типичные области применения	41
Шаблоны для литья по выплавляемым моделям	41
Корпусы для электроники	42
Тестирование формы и соответствия	43
Монтажные и установочные приспособления	43
2.9. Новые разработки	44
2.9.1. Непрерывное плавление нити – Markforged	44
2.9.2. Металлическая FFF-печать – Metal X от Markforged и Desktop Metal DM Studio	45
2.9.3. Интеграция электронных схем – Voxel8 DK	46

Глава 3. Полимеризация в ванночке – SLA/DLP	49
3.1. Технологии полимеризации в ванночке	49
3.1.1. Стереолитография (SLA)	49
3.1.2. Цифровая светодиодная проекция (DLP)	50
3.1.3. SLA против DLP	51
3.2. Характеристики принтера	51
3.2.1. Параметры принтера	51
3.2.2. Снизу вверх и сверху вниз	52
Снизу вверх	53
Сверху вниз	55
3.2.3. Структуры поддержки	58
3.3. Точность размеров	58
3.4. Материалы	58
3.5. Постобработка	59
3.6. Преимущества и ограничения	61
3.7. Промышленная и настольная печать полимеризацией в ванночке	61
3.8. Распространенные области применения	63
Прототипы для промышленного литья	63
Ювелирное дело (литье по выплавляемой модели)	63
Стоматологическое применение	63
Слуховые аппараты	64
3.9. Новые разработки	64
3.9.1. Непрерывная световая проекция – Carbon	65
Глава 4. Плавка порошков (полимеры) – SLS	66
4.1. Технологии плавки порошков	66
4.1.1. Выборочное лазерное спекание (SLS)	66
4.2. Характеристики принтера	68
4.2.1. Параметры принтера	68
4.2.2. Наполнение лотков	68
4.2.3. Адгезия слоев	69
4.3. Точность размеров	71
4.4. Материалы	71
4.5. Постобработка	72
4.6. Преимущества и ограничения	73
4.7. Распространенные области применения	75
Функциональные детали	75
Мелкосерийное производство изделий	75
Сложные каналы (с полым профилем)	76
4.8. Новые разработки	76
4.8.1. Мультиструйная плавка – HP	76
4.8.2. Настольные SLS-принтеры – Shareboot SnowWhite, Sintarec, Sinterit и Formlabs Fuse 1	77
Глава 5. Струйная 3D-печать – струйная 3D-печать, DOD	79
5.1. Технологии струйной 3D-печати	79
5.1.1. Струйная 3D-печать	79

5.1.2. Подача по требованию.....	80
5.2. Характеристики принтера.....	81
5.2.1. Параметры принтера	81
5.2.2. Поддержки	82
5.2.3. Матовая и гляцевая печать.....	83
5.3. Точность размеров	85
5.4. Материалы	85
5.5. Постобработка	86
5.6. Преимущества и ограничения	88
5.7. Распространенные области применения	89
Цветные визуальные прототипы	89
Модели для медицины	89
Прототипы для литья по выплавляемым моделям.....	89
Мелкосерийное литье по выплавляемым моделям	89
5.8. Новые разработки	91
5.8.1. Струйная 3D-печать наночастицами – XJet	91

Глава 6. Струйная печать связующим веществом

6.1. Технологии струйной печати связующим веществом	92
6.1.1. Струйная печать связующим веществом – песок	92
Полноцветные модели	93
Песчаные стержни и формы для отливки.....	94
6.1.2. Струйная печать связующим веществом – металл.....	94
Пропитывание	95
Сплавление	95
6.2. Характеристики принтера.....	95
6.2.1. Параметры принтера	95
6.2.2. Прочность изделий	96
6.2.3. Заполнение лотка для порошка	96
6.3. Точность размеров	96
6.4. Материалы	97
6.5. Постобработка	97
6.6. Преимущества и ограничения	99
6.7. Распространенные области применения	99
Полноцветные модели	99
Литье в песчаные формы	99
Функциональные металлические изделия.....	100

Глава 7. Плавка порошков (металлы) – DMLS/SLM, EBM.....

7.1. Технологии плавки порошков	102
7.1.1. DMLS/SLM.....	102
7.1.2. EBM.....	104
7.2. Характеристики принтера	104
7.2.1. Параметры принтера	104
7.2.2. Поддержки	105
7.2.3. Качество поверхности.....	105
7.3. Точность размеров	106
7.4. Материалы	106

7.5. Постобработка	107
7.6. Преимущества и ограничения.....	109
Плавка металлических порошков и струйная печать связующим веществом	110
7.7. Распространенные области применения.....	110
Стоматологическое применение.....	110
Медицинское применение	110
Аэрокосмическая и автомобильная области применения.....	111
Глава 8. Инструменты для принятия решений.....	112
8.1. Сводная таблица технологий	112
Часть II. Проектирование для 3D-печати	116
Глава 9. Общие особенности проектирования для 3D-печати	117
9.1. Толщина слоя.....	117
9.2. Стягивание и искривление.....	119
9.2.1. Температура	119
9.2.2. Облучение.....	119
9.2.3. Предупреждение стягивания и искривления	119
9.3. Структуры поддержек.....	120
9.4. Скругления	121
Глава 10. Описание элементов, изготовленных с помощью 3D-печати	122
Глава 11. Проектирование для FFF-печати	125
11.1. Структуры поддержек и направление изделия.....	125
11.1.1. Основы FFF-поддержек.....	126
11.1.2. Типы FFF-поддержек	128
11.1.3. Перемычки	130
11.2. Анизотрофность	131
11.3. Заполнение	132
11.4. Отверстия	134
11.5. Сводная таблица проектирования для FFF-печати	136
Глава 12. Проектирование для SLA/DLP-печати	138
12.1. Структуры поддержек и направление изделий	138
12.1.1. Структуры поддержек для принтеров, печатающих сверху вниз.....	139
12.2. Полые секции	141
12.3. Сводная таблица проектирования для SLA/DLP-печати	142
Глава 13. Проектирование для SLS-печати.....	144
13.1. Стягивание и искривление	144
13.1.1. Направление изделия	144
13.1.2. Уменьшение массы изделия.....	145
13.2. Избыточное спекание	145
13.3. Удаление порошка.....	147

13.3.1. Полые секции	147
13.3.2. Глухие отверстия	147
13.3.3. Подвижные детали	148
13.4. Сравнение с литьем под давлением	149
13.5. Ступенчатая поверхность	149
13.6. Проектные элементы при SLS-печати	151
Глава 14. Проектирование для струйной 3D-печати	153
14.1. Поддерживающие структуры и направление изделия	153
14.2. Полноцветная печать	154
14.3. Комбинирование материалов	155
Смешанный лоток	155
Цифровые материалы	155
Смешанные изделия	156
14.3.1. Проектирование из множества материалов	156
14.4. Проектные элементы в струйной 3D-печати	158
Глава 15. Проектирование для печати связующим веществом	160
15.1. Связующее вещество	160
15.2. Сырое состояние	161
15.3. Полноцветные отпечатки	162
15.4. Пропитка и сплавление	164
15.4.1. Стойки	164
15.5. Проектные элементы печати связующим веществом	165
Глава 16. Проектирование для DMLS/SLM-печати	167
16.1. Поддержки и направление изделий	167
16.2. Полые секции	169
16.3. Подложка	169
16.4. Оболочка и наполнение	170
16.5. Типичные параметры проектирования	171
16.5.1. Каналы	171
16.5.2. Скругления	171
16.5.3. Объем печати	172
16.6. Таблица проектных элементов металлической печати	173
Глава 17. Сводная таблица правил проектирования	175
Часть III. Применение технологий 3D-печати	177
Глава 18. Инструменты для создания 3D-проектов	178
18.1. CAD-проектирование	178
18.1.1. Объемное моделирование	178
18.1.2. Поверхностное моделирование	179
18.1.3. Скульптурное моделирование	180
18.1.4. CAD-проектирование	181
18.2. Топологическая оптимизация	182
18.2.1. Параметры топологической оптимизации	182

18.2.2. Преимущества и ограничения	184
18.3. Обратное проектирование	184
18.3.1. 3D-сканирование	184
Лазерное сканирование	185
КТ-сканирование	185
18.3.2. Физическое измерение	185
КИМ	186
Ручное измерение	187
18.3.3. Сводная таблица	187
Глава 19. Применение технологий FFF-печати	188
19.1. Монтажные и установочные приспособления	188
Практический пример – собственность Volkswagen и Ultimaker	188
19.2. Конкурентоспособное мелкосерийное производство посредством FFF	189
Практический пример – собственность Peak Additive	189
Глава 20. Применение технологий SLA/DPL-печати	194
20.1. Точные, индивидуальные хирургические стоматологические шаблоны ...	194
Практический пример – собственность Formlabs	194
20.2. Слуховые аппараты – самое успешное применение технологии 3D-печати	196
Практический пример – собственность EnvisionTEC	196
Глава 21. Применение технологий SLS-печати	199
21.1. Оригинальная панорамная камера	199
Практический пример – собственность Kohlhaussen Camera	199
21.2. Аксессуар для велосипеда, который должен иметь каждый	200
Практический пример – собственность Rehook	200
Глава 22. Применение технологий струйной 3D-печати	204
22.1. Обучение следующего поколения докторов	204
Практический пример – собственность Марка Тайена из Технологического университета Эйндховена	204
22.2. Киборги становятся реальностью со струйной 3D-печатью	207
Практический пример – собственность Виталия Булгарова из Factor 31	207
Глава 23. Применение технологий печати связующим веществом	210
23.1. Литье в песчаные формы позволяет производить устаревшие изделия	210
Практический пример – собственность ExOne	210
Глава 24. Применение технологий DMLS/SLM-печати	213
24.1. 3D-печать объединяет 100 деталей антенны в одну	213
Практический пример – собственность Concept Laser и Optisys LLC	213
24.2. Оптимизация для кронштейна подвески гоночной машины	215
Практический пример – собственность Томаса ван де Хаута из Formula Student Team TU Delft, Нидерланды	215
Предметный указатель	217