

Как сконструировать, чтобы хорошо напечатать

Сегодня никого не удивишь технологиями 3D-печати, причем не только широко доступными пластиками, но и более специфическими материалами, к примеру, металлами и керамикой. Уже опубликовано немало статей, и многие специалисты успели ознакомиться с аддитивными технологиями. Но для освоения всех их преимуществ требуется корректно спроектировать и выгрузить модель для печати. Столкнувшись на собственном опыте с вопросами проектирования, как технолог хочу обобщить те рекомендации, что дают фирмы, занимающиеся 3D-печатью, и описать те грабли, на которые пришлось наступить.

Николай Павлов

pavlov_nikolay@inbox.ru

Начну с небольшого уточнения: термин «аддитивные технологии» уже прочно входит в сленг промышленников (и не только радиоэлектронщиков, к коим я отношусь). Однако некоторые не задумываются, почему именно так назвали эту группу технологий. Кто и когда впервые дал им такое имя, точно неизвестно, но можно предположить, что имеется прямая связь с технологиями изготовления печатных плат. Именно там существуют аддитивные, субтрактивные и комбинированные методы изготовления. Суть 3D-печати в том, что мы добавляем материал, а не удаляем, как обычно. При типичной механообработке материал удаляют из заготовки различными методами — резкой, точением, фрезеровкой, сверлением и т. д. Существует множество способов обработки и технологий, но все они говорят о КИМ — коэффициенте использования материала, который, как известно, представляет собой соотношение объема или массы материала в готовом изделии, деленного на общее количество материала, израсходованного при изготовлении изделия. Коэффициент простой и понятный, позволяющий четко определить, насколько эффективно мы расходует материал. Ни для кого не секрет, что при фрезеровании, к примеру, в стружку может уходить до 90% материала. Ее, конечно, собирают и отправляют во вторичную переработку, но по массе материала выходит, что мы работаем на утиль. При аддитивных технологиях тем или иным методом происходит на-

ращивание слоев материала, а потому потери могут составлять единицы и доли процента. К тому же типовые ограничения в обработке зачастую уже отсутствуют.

В большинстве случаев теперь открывается простор для фантазии конструктора: любые поднутрения, канавки и полости, любые объекты сложной геометрии — все, что захотите. Но, как всегда, есть ряд своих условий, свойственных любой технологии, именно о них и пойдет речь. Оговорюсь сразу: это общие требования, каждая конкретная машина может обладать своими ограничениями, которые надо учитывать. Все рекомендации, описанные мною ниже, относятся к работе с CAD-программами, используемыми в промышленности (AutoCad, «Компас», SolidWorks, Creo Parametric и ряд других), особенности работы с дизайнерскими программами типа 3D Studio Max мне не знакомы, поэтому работающим в них специалистам советую отдельно уточнить, насколько актуальны мои предложения для правил проектирования.

Привычная разработка на отечественных предприятиях до этапа изготовления рабочей КД (РКД, эскизы, рабочие чертежи и т. п.), зачастую отображающей изделия на «плоскости». Сразу уточню: любая машина, любой принтер не работает с такими чертежами, нужна 3D-модель. А точнее не сама модель, а выгрузка файла в формате *.stl* (от *англ.* stereo lithography) — реестре треугольных граней, которые описывают поверхность детали, и их нормалей. Представление моделей в таких форматах — одно из первых базовых требований. Конечно, по расширению файла 3D-модели (ну, в крайнем случае, google поможет) любой изготовитель сможет определить, в каком CAD выполнен проект, и самостоятельно провести выгрузку в нужном формате. Но учтите, при любой выгрузке (это касается всех «приличных» CAD-программ) требуется задать точность построения модели. Для понимания — треугольниками легко построить прямоугольную деталь, а, к примеру, при описании окружности требуется аппроксимация дуги последовательностью треугольников, и чем их больше, тем более близкой к «идеальной» получится модель. Наглядно это показано на рис. 1.

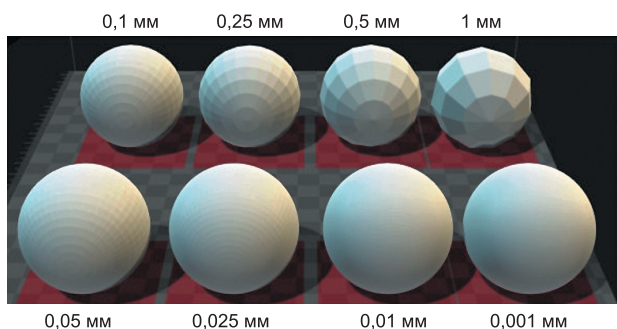


Рис. 1. Построение окружностей в CAD-программах

Еще одним важным условием для получения качественной детали является ее «замкнутость». В проекте не должно быть отдельных поверхностей, все поверхности должны образовывать замкнутый объем. Также нельзя оставлять наложение поверхностей (так называемые дубли). При этом данное ограничение имеет и положительный аспект — скажем, у вас в проекте есть две пересекающиеся детали, которые в результате должны создать единый массив изделия. Присоединять их не надо, если они расположены без зазора (или с частичным погружением), иначе ПО, а потом и принтер воспримут данные детали как единую конструкцию. Ошибка может возникнуть, если между деталями есть хоть какой-то зазор или они не соединены в единую модель. В таком случае принтеры, работающие по принципу спекания/склеивания слоев порошкового материала, могут в данном месте оставить зазор, и при извлечении деталь развалится на две отдельные части.

У всех производителей есть специальное требование: «модель должна быть с правильными нормальными». Неправильные, или инвертированные, нормали — неверно ориентированные нормали. Нормали всегда должны быть направлены наружу, они определяют границы объекта и задают 3D-принтеру нахождение внутренних и внешних поверхностей модели. Если хоть одна из нормалей направлена в обратную сторону и противоречит другой нормали, то принтер не может различить лицевую и оборотную (изнаночную) сторону объекта.

Также обязательным условием любого производителя будет неманифолдность, или неповторяемость модели. Данное требование означает, что у каждого ребра 3D-модели должно быть всего две грани. Казалось бы, это и так ясно, откуда могут возникнуть ошибки, но, как всегда, бес кроется в деталях. Ошибки могут возникать в следующих случаях:

- модель может иметь «незакрытую» полигональную сетку, то есть при внешнем осмотре вам кажется, что поверхность модели абсолютно замкнутая (для наглядности зачастую используют термины «герметичная» и «водонепроницаемая»), но при анализе обнаруживаются ребра, у которых отсутствует одна из граней. Визуально этого можно и не заметить, а ошибка возникнет;
- внутри стенок модели могут находиться дополнительные полигоны или грани, вы их не увидите за стенками модели, а при конвертировании в наборы треугольников машина создаст некорректные элементы, и принтер выдаст ошибку;
- ошибка привязки к одному ребру более двух граней: помните, что каждое отдельное ребро объединяет только две смежные грани;
- еще одна ошибка с привязкой к ребрам — когда ребра созданы на одной и той же плоскости в одном и том же месте, но не объединены; в такой ситуации их желательно или объединить, или оставить одно из двух, переведя все привязки на него;



Рис. 2. Разработка модели из нескольких разноцветных пластиков

- нулевая толщина полигона, чаще всего это ошибка, поскольку почти все программы требуют задания конкретного числового значения, отличного от нуля, при вытягивании объекта;

Возможны и другие причины, полагаю, что составить полный каталог со всеми вариациями причин возникновения ошибок вряд ли кому-то под силу.

Указанные выше требования (замкнутость, правильные нормали, неманифолдность, или неповторяемость), особенно последнее, проверять вручную на любых моделях крайне утомительное и непродуктивное занятие. Для помощи разработчику существует множество специализированных как дорогостоящих, так и бесплатных программ. О программах, предусматривающих финансовые вложения, рассказывать не буду, подробную презентацию сможет провести для вас менеджер по продажам. Перечислю бесплатное ПО, которого вполне достаточно для выполнения проверки модели на пригодность к печати. Простым поиском можно обнаружить несколько таких программ, в частности MeshLab, Netfabb Studio Basic, Microsoft 3D Model Repair Service. Мой опыт показывает вполне удачное использование программы NetFabb. Описание и подсказки позволяют человеку, даже не осваивавшему курс литья или штамповки деталей из пластмасс, разобраться в особенностях проектов для печати деталей на 3D-принтере в данном ПО.

Кроме, возможно, не всегда очевидных требований к проекту вашей модели, есть и явные правила, обязательные для принтера, на котором будет выполнена печать. Вкратце перечислю и их:

1. Помните, что любой принтер имеет рабочую зону построения объекта, проще говоря, ограниченные линейные размеры построения. Соответственно, если ваша модель заведомо больше зоны построения, заранее обдумайте возможность разделения модели на несколько деталей, которые в дальнейшем будут склеиваться (или как-то иначе соединяться) вместе. Порой такое разделение стоит сделать для получения качествен-

ной модели, не требующей постобработки. Приведу элементарный пример — модель гриба, высокая ножка и покатая шляпка полусферой. При запуске на простейшем экструдере (FDM-принтер), как ни размещай, потребуются поддержки для качественной печати, затем их придется удалить, а места размещения, возможно, зачищать. Если же разбить модель на два отдельных элемента — ножку (цилиндр) и шляпку (полусферу), доработки не понадобятся — достаточно склеить между собой детали.

2. Если вы разработали модель, состоящую из двух или более разноцветных пластиков, следует учитывать, на каком принтере ее будут изготавливать. Если у принтера одно сопло, то по возможности лучше разбить модель на отдельные элементы, собираемые в дальнейшем (рис. 2). При этом необходимо указывать четкое смещение деталей друг от друга по всем осям.
3. В большинстве случаев мы говорим о самой распространенной и простой FDM-печати (нитью через нагреваемое сопло). Однако технологий печати значительно больше, и многие из них имеют критические ограничения, в частности, есть технологии печати связующими растворами по порошковым материалам (клеями по песку, кислотой по оргстеклу и т. п.). Как и для обычной FDM-печати, для такой технологии критичен размер детали — длинная и тонкая деталь будет напечатана, но извлечь ее из рабочей камеры крайне проблематично, она может развалиться в руках оператора. Уточняйте, что и на чем вы хотите напечатать.

Отдельно хотелось бы обговорить чисто конструктивные требования, которые накладывает технология 3D-печати:

- задаваемая модель «идеальна», вы задали и начертили плоскость. В реальности эта плоскость сложится из нескольких слоев последовательно нанесенных друг на друга материалов. При этом механика принтера имеет допуски точности позиционирования и нанесения материала, и в результате идеальная поверхность отличается от реальной,

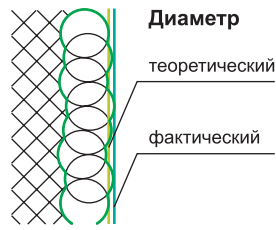


Рис. 3. Отличие идеальной поверхности от реальной

как показано на рис. 3. Любой производитель уточнит, какую точность на своем оборудовании он сможет в действительности обеспечить. Особенно это критично при печати малотолщинных элементов, расположенных в плоскости нанесения слоев (очень

хорошо видны нанесенные слои, деталь получается рельефной). Многие технологии позволяют выполнить постобработку деталей после печати и значительно улучшить качество (шероховатость) их поверхности;

- кроме того, имеют свои допуски и сами материалы, в ходе нанесения и при дальнейшем застывании (полимеризации, отверждении, обработке) они дают определенную усадку, отнюдь не всегда линейную по всем осям. Здесь опять же смогут вам помочь производители, знающие, как ведет себя применяемый на их производстве материал. Особенно критично данное условие при наличии сопрягаемых отверстий: уходы будут в разные стороны и не всегда на одинаковые величины;
- элементы тоньше 0,5 мм зачастую пропечатываются на большинстве принтеров либо

крайне неудачно, либо не пропечатываются вообще. У принтера есть гарантированное разрешение, и с толщинами меньше данного значения можно не экспериментировать, качественной детали не получится. Хотя существуют технологии и машины, позволяющие достичь и таких значений;

- еще раз акцентирую внимание на том, что тонкие длинные детали крайне неудачно печатаются/извлекаются, их жесткость мала, и при операциях велика вероятность возникновения брака или поломки при извлечении. Конечно, фирмы, специализирующиеся на 3D-печати, подскажут вам и предостерегут от большинства ошибок заранее, а нередко и сами проверят и подкорректируют вашу модель, но знать о данных особенностях, если вы разрабатываете такие модели, определенно необходимо. Удачного моделирования! ■■■