

### 3 Материалы для изготовления деталей на 3D принтере

Для 3D-MID подходят многие пластики, которые доступны на мировом рынке (таблица 3.1). Все пластики можно разделить на три группы: аморфные (ABS, PC), полукристаллические (PA, PP) и жидкокристаллические (LCP). Пластики последней группы отличаются от остальных тем, что сохраняют кристаллическую структуру даже будучи расплавленными, и более текучи в этом состоянии. Такие полимеры имеют значительно лучшие характеристики, значимые для 3D-MID, однако по сравнению с остальными пластиками их стоимость наиболее высока. Для получения оптимального сочетания свойств полимера и его стоимости в некоторых случаях смешивают различные пластики.

Если на пластиковое основание монтируются кристаллы микросхем, очень важно подобрать пластик, коэффициент температурного расширения (КТР) которого близок к КТР кристаллов. В противном случае из-за неравномерного теплового расширения основания и кристаллов при термоциклировании может нарушиться целостность паяных соединений и самих кристаллов. Также нужно учитывать, что некоторые пластики гигроскопичны и изменяют размеры под действием атмосферной влаги. Для того чтобы пластик стал пригодным для 3D-MID, в него необходимо добавить специальные присадки. Для технологии LDS это металлоорганические комплексы, которые активируются лазерным лучом. Однако следует иметь в виду, что присадки могут отрицательно влиять на важные для 3D-MID свойства, например, антипирены могут ухудшить адгезию металла к пластику. Перед выбором пластика и присадок необходимо проверить их совместимость с технологиями 3D-MID.

Ключевой компонент в технологиях 3D-MID - пластик, на который наносится металлическое покрытие. Технологии покрытия пластиков металлами известны уже давно. Постоянно совершенствуясь, они получили широкое распространение в самых различных отраслях промышленности.. Следующим шагом развития этих технологий стала селективная металлизация, которая лежит в основе 3D-MID.

Для сборки изделий 3D-MID применяются паяльные пасты с низкой температурой оплавления и токопроводящие клеи. Паяльные пасты выбирают, исходя из свойств конкретного пластика. Для монтажа кристаллов методом flip chip иногда применяются анизотропные токопроводящие клеи, проводимость которых зависит от направления.

Таблица 3.1. Пластики для 3D-MID

Группа	Материал	Обозначение	Прочность металлизации на отрыв		Вид пайки изделия		
			Химическое осаждение	Горячее тиснение	Групповая пайка		Селективная пайка
					Стандартными пропоями	Низкотемпературными припоями	
Пластмасса массового потребления	Полипропилен	PP	+	+	-	0	+
	Акрилонитрил-бутадиенстирол	ABS	+	+	-	-	+
	Поликарбонат	PC	+	+	-	+	+
Техническая пластмасса	Полиэтилентерефталат	PET	-	+	-	0	+
	Полибутилентерефталат	PBT	+	+	0	+	+
	Полиамид	PA	+	+	0	+	+
	Полифениленсульфид	PPS		-	+	+	+

## Примечания

Прочность на отрыв: "+" - больше 0,8 Н/м, "0" - в интервале 0,5-0,8 Н/м, "-" - ниже 0,5 Н/м. Вид пайки: "+" - стандартный процесс, "0" - требуется подбор параметров, "-" - специальный процесс. Пластмассы расположены в порядке увеличения стоимости.

**FDM метод** можно считать одним из наиболее технологически простых методов 3D-печати. Технология FDM была предложена в конце 1980-х и вышла на коммерческий рынок в 1990 году. Оригинальный термин "*Fused Deposition Modeling*" и соответствующая аббревиатура – FDM являются торговыми марками компании *Stratasys*. В основе процесса лежит последовательное наложение тонкой нити расплавленного пластика вплоть до создания цельного трехмерного объекта. В табл. 3.2 приведены характеристики различных пластиков, применяемые в данном методе. В качестве расходного материала используется пластиковая нить, намотанная

на катушку. Изредка используются отдельные прутки пластика. Стандартный диаметр нити составляет 1,75 мм или 3 мм.

Таблица 3.2

Сравнительная характеристика материалов для экструзивной печати

Характеристики	Тип пластика		
	ABS	PLA	HIPS
Температура печати	220-270 град	180-250	230-270
Температура платформы	105-115 град	30-50	Около 90
Температура размягчения	90-105 град.	50°C	
Температура стеклования	100 град	60-65°C	
Температура самовоспламенения	290 — 395		
Минимальная толщина стенки (рекомендуемая)	0.8-1.2 мм	1 мм	
Минимальная толщина слоя (рекомендуемая)	70% от диаметра сопла		
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1.07	1,23-1,25	1,05
Относительное удлинение при разрыве, %		3,80	65
Прочность при растяжении	35-50 МПа (23 град.)	55,3 МПа	62
Характеристики	Тип пластика		
	ABS	PLA	HIPS
Прочность на изгиб	41-45 МПа (23 град.)	57,8 МПа	33
Модуль упругости при растяжении		3,3 ГПа	
Модуль упругости при изгибе		2,3 ГПа	2.280
Твердость (по Роквеллу)	80 — 116 R	R70-R90	
Усадка, %	0.3-0.8	0,1	0,8
Минимальный размер деталей		0,3 мм	
Водопоглощение (23 град., 24 часа, погружение)	0.2 — 0.3%	0,5-50%	

Кроме перечисленных материалов встречаются такие как поликарбонат (PC, ПК), полиэтилен высокой плотности (HDPE, ПНД), полипропилен (PP, ПП), поликапролактон (PCL), полифенилсульфон (PPSU), полиметилметакрилат (Acrylic, оргстекло, акрил, ПММА), полиэтилентерефталат (PET, ПЭТ) и другие.

**Полилактид (PLA)**— биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный, алифатический полиэфир, мономером которого является молочная кислота. PLA-пластик, или полилактид, является наиболее биологически совместимым и экологически чистым из всех материалов, применяемых в 3D-принтерах. Обладает следующими преимуществами:

- размеры изделия стабильны;
- экономия энергозатрат из-за низкой температуры размягчения нити и низкой температуры платформы
- нет необходимости применять каптон для смазывания поверхности для наращивания прототипа;
- гладкость поверхности напечатанного изделия.

Биоразлагаемость PLA-пластика является и основным недостатком этого материала. В табл. 3.3 приведены данные об разлагаемости пластика. Напечатанные с использованием полилактида модели не могут похвастаться долговечностью – под воздействием солнечного света и влаги они полностью разлагаются в период от месяца до двух-трех лет. По этой причине PLA-пластик не используется для печати функциональных деталей. Однако, детали из PLA пластика имеют хорошее скольжение, из него можно делать подшипники скольжения. Недостатками полилактида также являются: медленное застывание – стеклование происходит при температуре приблизительно 50°C; повышенная хрупкость и жесткость.

Таблица 3.3

Время разложение PLA в зависимости от условий среды

Температура [°C]	Сравн. влажность воздуха[%]	Начальная фрагментаци я спустя	Полное разрушение спустя
4	100	5,3 года	10,2 года
25	20	2,5 года	4.8 года
25	80	2 года	3.1 года
40	80	5,1 мес.	10 мес.
60	20	1 мес.	2,5 мес.
60	80	15 дней	2 мес.

**Ударопрочный полистирол (HIPS)** по своей структуре является аморфным материалом, представляющим собой полимер стирола с разными видами синтетического каучука или смесь стирольных сополимеров. Поскольку полистирол при нагревании до температуры экструзии может выделять токсичные испарения, 3D-печать с его использованием необходимо проводить в хорошо проветриваемых помещениях. Одна из особенностей

пластика HIPS – полная растворимость в лимонене, позволяющая использовать его также и как материал поддержки. Главное преимущество при использовании HIPS для печати опорных структур состоит в том, что ни он, ни растворитель не взаимодействуют с такими пластиками ABS и PLA, а стоит гораздо дешевле PVA.

В этом случае возможна печать только на принтерах с 2-мя печатными головками – в один экструдер загружается основной расходный материал, в другой – вспомогательный. Для удаления опорной структуры достаточно ненадолго опустить объект в ванночку с лимоненом,

В сравнении с другими материалами, используемыми при 3D-печати, ударопрочный полистирол обладает рядом преимуществ, среди которых:

- стойкий к воздействиям кислот и щелочей;
- обладает небольшим коэффициентом термоусадки;
- температурный диапазон эксплуатации – от -40 °С до +70 °С;
- хорошая ударная прочность и пластичность готовых изделий, облегчающая механическую обработку;
- хорошие диэлектрические свойства – способен выдерживать большие напряжения, вплоть до 1 кВ.

**ABS-пластик (акрилбутадиенстирол)** – твердая, ударопрочная, термопластичная промышленная смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом. В зависимости от необходимых свойств, производитель может варьировать пропорции в пределах: 15-35% акрилонитрила, 5-30% бутадиена, 40-60%. Основные недостатки ABS-пластика:

- токсичность при нагревании и воздействии этилового спирта,
- разрушается от воздействия солнечных лучей и загрязняет окружающую среду,
- худшая точность печати (по сравнению с PLA-пластиком)

Достоинства ABS-пластика:

- высокая прочность (по сравнению с PLA) на изгиб и разрыв.
- высокая химическая стойкость (масла, бензин, кислоты, щелочи и т.д.)
- влагостойкость
- хорошо обрабатывается ацетоном.
- широкий диапазон эксплуатационных температур.
- минимальная усадка готового изделия, не более 1%
- хорошо связывается с поверхностью для печати, но рекомендуется использовать подогреваемый стол и специальные поверхности для печати.