

# АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К АДДИТИВНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

*Новаковский А.Г., Антонюк В.С.*

*НТУ Украины*

*«Киевский политехнический институт», Киев, Украина*

Современный мир быстро и уверенно переступает рубеж, который характеризует собой начало новой эпохи в производственном процессе. Одной из главных тенденций современности выступает трехмерная печать, меняющая не только мировую экономику, но и возрождающая старые промышленные центры. Сейчас самыми распространенными сферами применения трехмерной печати являются такие отрасли, как: медицина, космонавтика, пищевая промышленность, архитектура, дизайн, ювелирное искусство и образование.

Аддитивное производство» или 3D-печать – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели.

Наиболее распространенной и известной технологией 3D-печати является технология послойного наложения расплавленной полимерной нити (Fused deposition modeling – FDM).

Эта технология использует термопластики, обеспечивающие непревзойденную механическую, термическую и химическую прочность деталей. В то же время выбор оптимального материала при изготовлении модели методом послойного наплавления является критичным, так как напрямую влияет на свойства конечного продукта.

Материалы для FDM-принтеров. Самыми распространенными материалами для FDM-принтеров являются пластики акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) и полилактид (PLA).

ABS – это ударопрочная техническая термопластическая смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом. Сырьем для его производства является нефть. Этот пластик непрозрачный, легко окрашивается в разные цвета.

Достоинствами ABS являются: износостойкость ударопрочность и относительная эластич-

ность, долговечность, влаго- и маслостойкость, стойкость к щелочам и кислотам, нетоксичность, а также широкий диапазон эксплуатационных температур: от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; у модифицированных марок до  $100-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

К достоинствам акрилонитрилбутадиенстирола следует отнести невысокую стоимость, растворимость в ацетоне (что позволяет не только склеивать детали из ABS, но также сглаживать при помощи ацетона неровную поверхность). ABS более жесткий, чем PLA, и потому сохраняет форму при больших нагрузках.

К недостаткам относятся: несовместимость с пищевыми продуктами, особенно горячими, поскольку при определенных условиях (высокой температуре) может выделять циановодород, неустойчивость к ультрафиолетовому излучению, термоусадка заметно выше, чем у PLA, более хрупкий, чем PLA.

Рабочая температура и находится в диапазоне  $210-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что выше, чем у PLA.

Кроме того при работе с нитью ABS ощущается слабый запах, а для лучшего прилипания первого слоя модели к рабочему столу требуется подогрев стола примерно до  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

PLA – биоразлагаемый, биосовместимый полиэфир, мономером которого является молочная кислота. Сырьем для производства служат возобновляемые ресурсы, например, кукуруза или сахарный тростник, поэтому материал является нетоксичным и может применяться для производства экологически чистой упаковки и одноразовой посуды, а также в медицине и в средствах личной гигиены.

Достоинствами полилактида являются низкий коэффициент трения, делающий его пригодным для изготовления подшипников скольжения, малая термоусадка, (особенно в сравнении с ABS),

менее хрупкий и более вязкий, чем ABS: при одинаковых нагрузках скорее согнется, чем сломается.

Рабочая температура ниже, чем у ABS: около 180–190 °С. Подогрев рабочего стола не является обязательным, но желательно все же нагревать стол до 50–60 °С.

Недостатки: меньшая, чем у ABS, долговечность; он более гигроскопичен нежели PLA, и даже при хранении требует соблюдения режима влажности, иначе может начаться расслоение материала и появление пузырьков, что приведет к дефектам при изготовлении модели.

Ацетон практически не оказывает воздействия на PLA, его приходится склеивать и обрабатывать дихлорэтаном, хлороформом или другими хлорированными углеводородами, что требует повышенных мер безопасности при работе. К тому же PLA зачастую немного дороже ABS.

Другие материалы для FDM-печати, такие как, ударопрочный полистирол (High-impact Polystyrene – HIPS), нейлон (NYLON), поликарбонат (Polycarbonate – PC), полиэтилентерефталат (Polyethylene terephthalate – PETT), поливинилацетат (Polyvinyl Acetat – PVAc), поливиниловый спирт (Polyvinyl Alcohol – PVAI) распространены гораздо меньше.

HIPS – материал непрозрачный, жесткий, твердый, стойкий к ударным воздействиям, к морозу и перепадам температур.

Растворяется в лимонене — естественном растворителе, извлекаемом из цитрусовых, и потому может использоваться для создания поддерживающих структур, которые не придется удалять механически. Рабочая температура около 230 °С, цена на 30–50% выше, чем у ABS.

Нейлон легкий, гибкий, устойчивый к химическому воздействию. Детали из него обладают очень низким поверхностным трением.

Рабочая температура выше, чем у PLA: около 240–250 °С. При этом не выделяется паров или запахов. Стоимость нейлоновой нити в два раза выше, чем PLA или ABS.

PC – твердый полимер, сохраняющий свои свойства в диапазоне температур от –40 °С до 120 °С. Температура печати 260–300 °С. Обладает высоким светопропусканием и часто используется в качестве заменителя стекла, а поскольку еще

имеет меньшую удельную массу и более высокий коэффициент преломления, то прекрасно подходит для производства линз. Полная биологическая инертность позволяет делать из него даже контактные линзы.

Кроме того, из него так же изготавливают компакт-диски.

В виде нити для FDM-печати пока выпускается мало, поэтому цена втрое выше, чем у ABS.

Похожими оптическими свойствами обладает PETT.

Модели из него получаются очень прочными, поскольку слои расплавленного материала отлично склеиваются.

Рабочая температура печати составляет 210–225 °С, а при этом стол желательно подогреть до 50–0 °С.

Под аббревиатурой PVA могут скрываться два типа материала: поливинилацетат (Polyvinyl Acetate, PVAc) и поливиниловый спирт (Polyvinyl Alcohol, PVAI). По химической формуле они довольно похожи, только в поливиниловом спирте отсутствуют ацетатные группы.

Поливиниловый спирт PVAI требует рабочей температуры около 180–00 °С, дальнейшее ее повышение нежелательно – он может начаться пиролиз. Материал очень гигроскопичен, он активно поглощает влагу из воздуха, что создает проблемы и при хранении, и при печати, особенно если диаметр нити 1,75 мм.

С другой стороны, это же свойство является очень полезным: поддержки, сделанные из PVAI, растворяются в холодной воде.

Поливинилацетат PVAc известен как составная часть клея ПВА, представляющего собой водную эмульсию этого вещества.

Он также хорошо растворяется в воде и для него требуется немного более низкая рабочая температура – 160–170 °С.

Выводы. Рассмотренные материалы для 3D-печати обладают необходимым набором свойств и достаточной прочностью. Однако, они не всегда удовлетворяют предъявленным требованиям к конечным моделям.

Тем не менее, лидирующие позиции по использованию для 3D-печати занимают акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) и полилактид (PLA).