

# К вопросу о 3D-печати полимерных формообразующих деталей литьевых форм

Актуальность вопроса ускорения процесса технологической подготовки мелкосерийного производства изделий из полимерных материалов возрастает в связи с современной тенденцией частой смены вида продукции. Особенно это касается изделий, изготавливаемых литьем под давлением и требующих каждый раз нового комплекта литьевых форм. Возможности бурно развивающихся аддитивных технологий позволяют решить эту задачу в отношении как мелких серий новых изделий, так и сменных комплектов формообразующих деталей (ФОД) литьевых форм для пилотных партий новых разрабатываемых изделий, но только при условии обоснованного подхода к выбору аддитивной технологии, а также материала и конструкции ФОД.

**В. Г. Дувидзон**, руководитель направления по обработке полимерных материалов ООО «ИФ АБ Универсал» (Москва)

Традиционными материалами для изготовления ФОД литьевых форм являются металлы – конструкционные стали и алюминиевые сплавы, причем трудоемкость изготовления комплекта ФОД фрезерованием на станках с ЧПУ из алюминиевых сплавов в 2–3 раза меньше, чем из стали, и может составлять до 4–5 рабочих смен или несколько более. Такое решение экономически оправдывает себя при размерах партий продукции, требующих обычно от 500 до 30 000 циклов литья в зависимости от марки полимерного материала и геометрии отливки. Срок службы стальных ФОД, естественно, больше. Однако если речь идет о малых или пилотных сериях литьевых изделий, то для производства ФОД экономичной альтернативой становятся аддитивные технологии.

## Введение

Аддитивные технологии или технологии 3D-печати в настоящее время уверенно внедряются в практику технологической подготовки производства изделий из полимерных материалов, и данное тематическое направление, кстати, заявлено одним из основных на предстоящей в этом году выставке K-2019 в Дюссельдорфе. Все больше компаний включается в конкурентную борьбу за место на этом перспективном рынке, особенно в области новых полимерных материалов для 3D-печати. В источнике [1] кратко освещено современное состояние дел в этой области, но в рамках настоящей статьи эта тема рассматривается лишь применительно к возможностям изготовления ФОД литьевых форм. Поводом для ее написания послужила статья в журнале *Kunststoffe* [2], подготовленная специалистами Технико-экономического института г. Карлсруэ (Германия) и опубликованная затем в журнале «Полимерные материалы» [3]. В этой статье речь идет об исследовании возможностей «применения аддитивных

технологий для быстрого изготовления полимерных ФОД литьевых форм для производства прототипов или мелких серий изделий литьем под давлением» (цитата из статьи). В качестве материала для исследуемых ФОД авторы выбрали суперконструкционный термопластичный полимерный материал – полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) – и изготовили из него ФОД на аддитивной установке для послойного наплавления нитей (филаментов) (технология FFF: Fused Filament Fabrication). Идея выбора именно этого материала, обладающего высокими упруго-прочностными характеристиками, заключалась также в его высокой длительной термостойкости, позволяющей работать с расплавами термопластов, у которых температура впрыска может достигать 250 °С и выше (см. таблицу). Авторы данной работы, изготовив опытную ФОД из нити ПЭЭК методом FFF 3D-печати (фото 1), затем провели эксперименты по литью под давлением в этой ФОД образцов

**Характерные показатели некоторых физико-механических свойств ПЭЭК** (источники: [www.vk.com](http://www.vk.com), [www.rusplast.com](http://www.rusplast.com))

Показатель	Значение
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1300–1320
Прочность при растяжении, МПа	90–110
Модуль упругости при растяжении, МПа	до 3700
Удлинение при разрыве, %	12–15
Прочность при изгибе, МПа	180
Твердость по Шору (метод D), отн. ед.	85
Температура плавления, °С	343
Вязкость расплава при 400 °С, Па·с	90
Коэффициент теплового расширения, 10 <sup>-6</sup> 1/К	45
Максимальная температура эксплуатации, °С	250*–310
Влагопоглощение, %	0,1–0,5

\* Температура длительной эксплуатации.

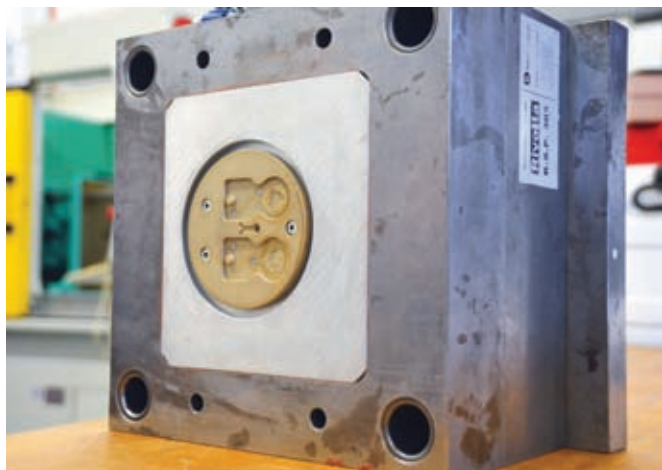


Фото 1. Формообразующая вставка (бежевого цвета) в форму, изготовленная методом 3D-печати из нити ПЭЭК [2, 3]

из полиамида ПА6 и АБС-пластика. Были установлены некоторые закономерности использования напечатанной ФОД и намечены пути дальнейших исследований. Вместе с тем в работе [2, 3] не все решения выглядят убедительно, а некоторые даже ошибочными. Поэтому имеет смысл разобраться в этом важном вопросе, чтобы заинтересованные читатели учли информацию и рекомендации, приведенные в настоящей статье.

### Краткая предыстория вопроса

Работы в области 3D-печати ФОД из полимерных материалов ведутся много лет как за рубежом (в частности, в Германии), так и у нас в стране. В первую очередь, следует отметить многолетние исследования фирмы Stratasys по «выращиванию» ФОД литевых форм из фотополимеров, в частности из «цифрового» АБС-пластика (технология PolyJet). В методических материалах той же фирмы по проектированию и эксплуатации литевых форм со сменными фотополимерными ФОД есть спорные моменты, но основные идеи можно считать базовыми для данного вопроса. Кроме того, можно легко найти в интернете достаточно много информации по литевым формам с комплектами ФОД, «выращенных» на установках компании EOS (SLS-технология) из порошка PA12 со стеклянным и углеродным волокном или с алюминиевой пудрой. Такие наполнители способствуют повышению и прочности, и теплопроводности ФОД, что важно с точки зрения увеличения длительности их эксплуатации. Частично эти вопросы отражены также в работе [4]. Отсутствие анализа «исторического опыта» в любой работе обычно приводит к «изобретению велосипеда» с обидными повторениями проблемных моментов.

### Конструкция полимерной ФОД

На приведенном в статье [2, 3] фото (здесь фото 1) видно, что вставка (матрица) из ПЭЭК установлена в стальной обойме с зазором и держится только на трех крепежных винтах, предохраняющих от выпадения. Соответственно, давление расплава на боковые стенки воспринимается тонкой перемычкой из сплавленных ПЭЭК-нитей, что ожидаемо приводит к межслоевому растрескиванию матрицы, как это



## Компетентность с фирмой **KOCH**



**Серия GRAVIKO GK**  
Гравиметрическое дозирование и взвешивание, контроль и анализ в рамках одной рабочей операции.



**ККТ**  
Мобильные приставные сушилки с сенсорной панелью. Снижение расхода электроэнергии на 40 %.



**Серия KEM-TOUCH**  
Прибор прямого добавления краски серии KEM с объемным дозированием.

**ЕКО**  
Высокое качество сушки при снижении расхода электроэнергии на 40 %.



Производители всего мира доверяют надежным системам с компонентами модульной системы «Koch».

ООО ГК „СПЕКТР“  
ул. Переходникова 31, кв. 64  
603053 Нижний Новгород  
Тел.: (831) 410-28-54  
Mail: spektr.gk@mail.ru

Головной офис в Германии:  
Тел. +49 7231 8009-66

Mail: wbirkle@koch-technik.de  
S: w.birkle\_koch-technik



www.koch-technik.com

и было установлено в работе [2, 3]. Если бы эта матрица находилась в стальной плите-обойме без зазора и толщина стенки матрицы в проблемных зонах была увеличена не менее чем в два раза, то давление расплава на стенки матрицы компенсировалось стенками стальной обоймы, и при определенном ограничении давления впрыска и выдержки эта матрица наверняка смогла бы обеспечить большее количество циклов литья без разрушения – от 50 до 150 в зависимости от типа полимерного материала и конструкции изделия. Кроме того, поскольку матрица возвышается над плоскостью разъема обоймы, то при смыкании литвевой формы практически все усилие запираения воспринимается этой полимерной ФОД. Под его действием матрица «плавает» и либо деформируется, либо растрескивается. В то же время, если бы матрица была бы выполнена заподлицо с плоскостью разъема стальной плиты-обоймы или даже на 0,03–0,05 мм занижена, то все усилие запираения воспринималось бы стальной обоймой и матрица сохраняла свою пригодность до достижения значительно большего количества циклов литья.

В полимерных ФОД знаки, оформляющие небольшие отверстия в отливке, как правило, изготавливают сменными – из стали или алюминиевых сплавов. Эта общепринятая норма для всех полимерных ФОД тем более обязательна для ФОД, «напечатанных» из полимерных нитей, у которых межслоевая прочность очень низкая и сменные металлические знаки обеспечивают и повышенное количество, и качество отливок.

И еще. «Дизель-эффект», о котором, как о негативном факторе пишут авторы [2, 3], может наблюдаться в любых литевых формах и связан только с отсутствием выпоров – каналов для эвакуации воздуха из формирующей полости – или недостаточным их количеством и (или) малыми размерами, а не с аддитивной технологией изготовления или видом материала ФОД.

### Система охлаждения полимерной ФОД

В рассматриваемой статье ее авторы предположили возможность более эффективного охлаждения ФОД с помощью охлаждающих жидкостей. Вопрос этот важный, поэтому имеет смысл остановиться на нем подробнее. Дело в том, что, если использовать каналы охлаждения непосредственно в ФОД, то, во-первых, из-за плохой теплопроводности полимерных материалов (включая ПЭЭК) по сравнению с металлами тепло от отливки отводится очень медленно и, как следствие:

- будет большая неравномерность охлаждения отливки из-за перепада температуры формирующей поверхности ФОД в местах каналов и в промежутках между ними, что наверняка вызовет коробление отливки;

- каналы охлаждения не смогут быстро, т. е. в течение цикла литья, охладить отливку до температуры автоматического извлечения, так как поток тепла от отливки к хладагенту, циркулирующему в каналах охлаждения, очень медленно преодолевает массив материала матрицы;



Фото 2. Характерный внешний вид нитей ПЭЭК, используемых в методах FFF и FDM 3D-печати (фото: www.vk.com)

- медленное охлаждение полимерной матрицы требует ее дополнительного внешнего охлаждения, например обдува холодным воздухом после 2–3 циклов литья, а тогда зачем нужны каналы охлаждения?

Во-вторых, так как каналы охлаждения будут проходить в теле матрицы недалеко от формообразующих поверхностей, они наверняка вызовут падение ее прочности в зонах уменьшенной толщины, а также, являясь концентраторами напряжений, приведут к растрескиванию матрицы.

В-третьих, практически все изделия, «выращенные» из полимерной нити (технологии FFF, FDM: Fused Deposition Modelling) (фото 2), негерметичны по определению. Соответственно, каналы охлаждения будут пропускать воду, и, попадая в расплав, влага будет мгновенно вскипать, образуя в отливке поры и полости.

Поэтому и с точки зрения герметичности каналов охлаждения, и с точки зрения качества формирующей поверхности и преодоления анизотропии прочности «выращенного» изделия по осям X, Y и Z 3D-печать ФОД из полимерных материалов предпочтительнее проводить по технологии SLS (послойное спекание полимерного порошка лучом лазера). Альтернативный способ – фрезерование ФОД из монолитной полимерной плиты-заготовки на станках с ЧПУ.

### Влияние толщины стенки отливки на срок службы полимерной ФОД

Для любых полимерных ФОД важным параметром отливаемого изделия, влияющим на долговечность ФОД, является максимальная толщина стенки отливки. Как показывает опыт, при ее большой толщине (более 4,5 мм) наблюдается ускоренный перегрев полимерной формирующей вставки. Это приводит к тому, что мелкий рельеф, как, например, логотип на поверхности ФОД, «смывается» расплавом, острые кромки «заваливаются», а материал ФОД начинает быстро разрушаться. Скорее всего, именно увеличенная толщина отливки была одной из главных причин этих зарегистрированных в работе [2, 3] негативных явлений.

### Извлечение отливки из полимерной ФОД

Авторы [2, 3] справедливо пишут о необходимости снижения времени цикла и для достижения этой цели предполагают «пересмотреть концепцию охлаждения формы». Представляется сомнительным в принципе решить эту задачу по отношению к полимерным ФОД за счет системы охлаждения. В случае производства

опытных или пилотных серий изделий имеет смысл перейти на ранний съём отливки и извлекать ее по возможности аккуратно вручную. Это решение сократит время цикла, так как не надо ждать охлаждения отливки до температуры, при которой выталкиватели не будут ее деформировать. Еще больше сократить время цикла можно за счет применения дополнительных сменных комплектов ФОД. Тогда последовательность процесса извлечения отливки из литейной формы будет выглядеть следующим образом:

- отливка вместе со сменным комплектом ФОД (комплект № 1) после окончания выдержки под давлением извлекается из литейной формы и остывает вне формы естественным образом или принудительно путем обдува холодным воздухом;
- другой сменный комплект ФОД (комплект № 2) устанавливается в литейную форму, как закладная деталь, и начинается новый цикл литья;
- в это время сменный комплект ФОД (№ 1), находящийся вне литейной формы, доохлаждается, а после его раскрытия и извлечения из него отливки он готов для последующего использования.

### Заключение

В заключение следует добавить, что в настоящее время во многих странах, включая Россию, активно ведутся исследования по «выращиванию» деталей из ПЭЭК послойной экструзией полимерной нити (FFF- или FDM-технологии), но серийного оборудования для этих целей пока еще нет, имеются лишь опытные образцы. Только после тщательной отработки конструкции соответствующего оборудования и технологических параметров процесса 3D-печати, а также расширения марочного ассортимента полимерных нитей могут быть удовлетворены ожидания конструкторов и технологов в отношении послойного «выращивания» ФОД литейных форм, а также изделий из материалов на основе ПЭЭК, но произойдет это, видимо, не завтра.

### Литература

1. Kesslering O. Additive Adoleszenz. Materialhersteller und Verfahrensentwickler begegnen steigenden Anforderungen im 3D-Druck // Kunststoffe – 2018. – Nr. 10. – S. 66–74.
2. Poehler F. M., Bauer S., Feucht T. Gedruckte Spritzgiessformen für kleine Stückzahlen // Kunststoffe – 2018. – Nr. 11. – S. 45–47.
3. Пелер Ф. М., Бауэр С., Фойхт Т. Напечатанные литейные формы для мелкосерийной продукции // Полимерные материалы. Приложение «Kunststoffe Пластмассы» – 2019. – № 1. – С. 2–4.
4. Бояринцев А. В., Дувидзон В. Г., Подсобляев Д. С. Быстрое изготовление пилотных серий деталей из термопластичных полимерных материалов // Полимерные материалы. – 2013. – № 6. – С. 4–9.

### *On the Issue of 3D Printing of Plastic Form-building Details for Injection Moulds*

V. G. Duvidzon

*Possibilities of production of replaceable polymer form-building details by the 3D printing are discussed. Such technology especially well is suitable for production of prototypes or small products batches by means of injection moulding. ■*

Everplast

E.P. Echaplant

# Everplast



Линия для Компаундирования ПП/ABS/EVA



Экструзионная Линия для Фруктовых Сеток



Экструзионная Линия для Картриджей Водяных Фильтров из Полипропилена



Линия по производству кабель каналов из ПВХ



Свяжитесь с нами

Телефон : +7-985-9918547

E-mail : sergey@mail.everplast.net



Everplast Machinery Co Ltd

