

Быстрое изготовление пилотных серий деталей из термопластичных полимерных материалов

Предлагаются «прогрессивные» концепции технологической подготовки литьевого производства с использованием аддитивных технологий, которые позволяют быстро изготовить пилотную серию деталей из термопластичных полимерных материалов и существенно снизить трудоемкость освоения новой продукции в серийном производстве по сравнению с «традиционным» подходом.

Бояринцев А. В., Дувидзон В. Г., Подсобляев Д. С., ООО «ИФ АБ Универсал» (Москва)

«Традиционная» технологическая подготовка производства (ТПП) деталей из термопластичных полимерных материалов (ТПМ), изготавливаемых литьем под давлением, обычно состоит из двух основных этапов:

- разработка конструкторской документации (КД) на литьевую форму по чертежу или 3D-модели детали (длительность этапа составляет обычно 3–6 нед);

- изготовление литьевой формы в соответствии с разработанной КД (обычно 8–16 нед).

Таким образом, получить первые образцы детали можно будет только через 3–5 мес после разработки ее чертежа. Однако тестирование опытной партии деталей нередко приводит к отрицательным результатам, и отделаться небольшими доработками самой детали и (или) литьевой формы зачастую не удается. Необходимо начинать процесс подготовки производства заново, а время упущено и средства затрачены, причем немалые.

Уменьшить и даже устранить потери времени и средств на ТПП позволяет «прогрессивная» концепция ТПП, основанная на «аддитивных» технологиях. Еще на стадии создания 3D-модели детали, с переводом ее в формат STL, на специальных установках прототипирования «выращивается» объемная модель детали, например, из эпоксиакрилатного фотополимера на установках серий EDEN или CONNEX производства

фирмы Stratasys (объединенная компания Objet-Stratasys, Израиль) или из порошка полиамида PA12 путем послойного спекания лучом лазера на установках серии EOSINT P производства фирмы EOS (Германия). Требуется всего несколько часов работы установки для создания физической модели – прототипа новой детали с точностью размеров в пределах $\pm 0,1$ мм от номинала. Этот прототип можно подвергнуть различным испытаниям:

- оценить внешний вид и эргономичность конструкции детали;
- проверить удобство монтажа и демонтажа сборного изделия, в состав которого входит новая деталь;
- откорректировать рабочие и технологические зазоры;
- проверить работоспособность изделия;
- получить действующие образцы изделий для презентаций, маркетинга и выставочной деятельности.

Если по каким-то причинам нельзя или нецелесообразно производить опытную серию изделий (деталей) такими или аналогичными методами, тогда эти «выращенные» прототипы используют как мастер-модели для изготовления эластичных силиконовых форм. Затем в эти формы под вакуумом заливают специальные двухкомпонентные полиуретановые композиции, после отверждения которых получают детали, имитирующие такие ТПМ, как ПП, АБС-пластик, ПА, ПММА или

термопластичный полиуретан. Обычно на изготовление силиконовых форм требуется 3–5 дней, а технологический процесс литья деталей-прототипов позволяет произвести 1–3 заливки за рабочую смену. «Жизнестойкость» силиконовых форм составляет 20–25 заливок. Полученные детали могут быть прозрачными, непрозрачными, жесткими, упругими, эластичными и окрашенными в массу или только со стороны видовых поверхностей, вне формы. Для реализации этого технологического процесса применяют, например, оборудование фирмы MK Technology (Германия) и материалы фирмы AXSON (Франция).

По результатам испытаний деталей-прототипов проводится корректировка 3D-модели детали и выпускаются на нее чертежи. Когда в конструкции нового изделия все проблемные места обнаружены и проблемы устранены, причем «малой кровью», можно изготовить рабочую партию прототипов или приступить к созданию литьевых форм для серийного производства. Справедливости ради следует отметить, что остается ряд спорных или неоднозначных моментов. Так, детали-прототипы из материалов-имитаторов не всегда можно использовать в реальных изделиях или испытать в полном диапазоне эксплуатационных требований к изделию. Кроме того, реальные детали, изготовленные согласно КД из «штат-

Изготовление ФОД из стали еще более трудоемко, чем из алюминиевых сплавов и, соответственно, еще менее выгодно для выпуска пилотной серии деталей. Отсюда вытекает необходимость в подборе альтернативных материалов и технологии изготовления ФОД с минимальной трудоемкостью и стоимостью их производства.

Фотополимеры

Фирма Stratasys разработала и внедрила программу PIMT (3D Printed Injection Molding Tool) для производства ФОД из фотополимеров, которые дают возможность изготавливать литьем под

давлением детали из ПЭ, ПП, ПС, АБС-пластиков, термопластичных эластомеров (ТПЭ). Для производства ФОД по технологии PIMT предлагается АБС-подобный фотополимер (табл. 1), из которого на установках CONNEX в течение нескольких часов «выращиваются» пуансон и матрица (рис. 1).

Сравнительно невысокая теплостойкость фотополимера, которая меньше температуры литья указанных выше ТПМ, не сказывается на деформационной устойчивости ФОД, поскольку фотополимер не успевает прогреться до высоких температур за время цикла литья. И лишь при толщине стенок

ки отливки более 4 мм наблюдается перегрев фотополимерных ФОД из-за увеличенных времени цикла и теплового потока от расплава ТПМ. Замечено также, что улучшению теплоотвода от рабочих поверхностей ФОД способствуют их тщательное смазывание, которое рекомендуется проводить после каждого цикла литья, и дополнительное воздушное охлаждение.

Основные требования к конструкции ФОД (пуансона и матрицы) из АБС-подобного полимера и рекомендации по их обслуживанию следующие:

- скругления всех углов (чем больше радиус скругления, тем долговечнее ФОД);
- направление линий «выращивания» материала при создании ФОД должно быть вдоль фронта течения расплава ТПМ в формующей полости литвевой формы;
- технологический угол наклона вертикальных стенок – не менее 1,5°;
- температура рабочих поверхностей ФОД в процессе литья не должна превышать приблизительно 50 °С, поэтому их рекомендуется охлаждать сжатым воздухом в течение около 1 мин через каждые 5–6 циклов литья.

Следует заметить, что в случае использования фотополимерных ФОД время цикла литья несколько увеличивается по сравнению с металлическими ФОД, поэтому и усадка деталей будет несколько больше (особенно в случае частично кристаллических ТПМ).

Дисперснонаполненный ПА12

Фирма EOS (Германия) имеет опыт изготовления ФОД методом послойного спекания порошкообразной композиции (рис. 2). Для этих целей предлагается наполненный алюминиевым порошком ПА12 марки EOS Alumide (табл. 2), а реализация процесса может осуществляться на установках серии EOSINT P.

Модельные плиты из полимерного композиционного материала

Экономичным вариантом производства ФОД является также их изготовление фрезерованием на станках с ЧПУ из специальных мо-

Таблица 1. Физико-механические характеристики АБС-подобного фотополимера

Показатель (стандарт испытаний)	Значение
Плотность, г/м ³	1,17–1,18
Прочность при растяжении (D-638-03), МПа	55–60
Модуль упругости при растяжении (D-638-04), МПа	2600–3000
Удлинение при разрыве (D-638-05), %	25–40
Прочность при изгибе (D-790-03), МПа	65–75
Модуль упругости при изгибе (D-790-04), МПа	1700–2200
Деформационная теплостойкость (D-648-06, метод В, 0,45 МПа), °С	92–95
Деформационная теплостойкость (D-648-07, метод С, 1,82 МПа), °С	51–55
Ударная вязкость по Изоду (D-256-06, с надрезом), Дж/м	65–80
Температура стеклования, °С	47–53
Твердость по Шору (шкала D), отн. ед.	85–87
Твердость по Роквеллу (шкала М), отн. ед.	67–69

Примечание. Источниками приведенных в табл. 1 и 2, а также по тексту статьи конкретных сведений являются проспекты и сайты соответствующих фирм-производителей и экспериментальные данные авторов.

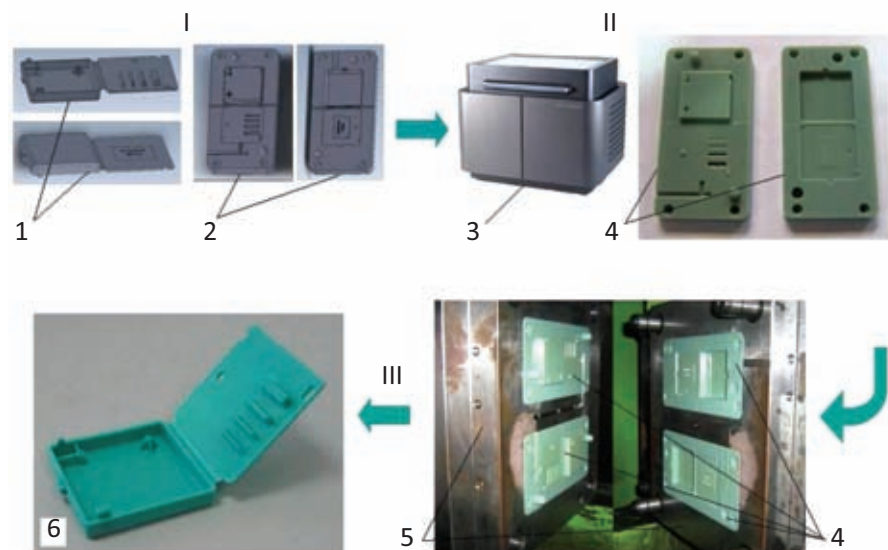


Рис. 1. Схема процесса производства деталей 6 из ТПМ в литвевой форме 5 с комплектом ФОД 4 из АБС-подобного фотополимера: I – проектирование САД-моделей деталей 1 и ФОД 2; II – изготовление на установке CONNEX (3) комплекта ФОД 4; III – изготовление в литвевой форме 5 с ФОД 4 из фотополимера деталей 6

дельных плит из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Для этих целей хорошо подходят модельные плиты марки LAB 1000 (табл. 3) фирмы AXSON (Франция) и марки OVO 1000 фирмы OVO-Werke (Германия).

Успешный опыт проведения совместных работ фирмами ООО «ИФ АБ Универсал» (Москва), ОАО «ЭХМЗ» (г. Электросталь, Московская обл.) и ООО «ТЗК Техоснастка» (Москва) подтвердил экономичность данной технологии и то, что в литевых формах с комплектами ФОД из ПКМ можно в достаточном количестве отливать пилотные серии деталей из ТПМ. Так, на одном таком комплекте ФОД можно произвести от 50 до 300 отливок в зависимости от конструкции деталей и марки ТПМ (практически любого ТПМ). Особенности проектирования и изготовления ФОД литевых форм из модельного материала следующие:

- уменьшенная толщина разводящих литников (при замене цилиндрического сечения на прямоугольное) с толщиной не более 4 мм;
- ограничения по размещению выталкивателей относительно детали (предпочтительней толкать в литники, чтобы исключить деформацию отливки);

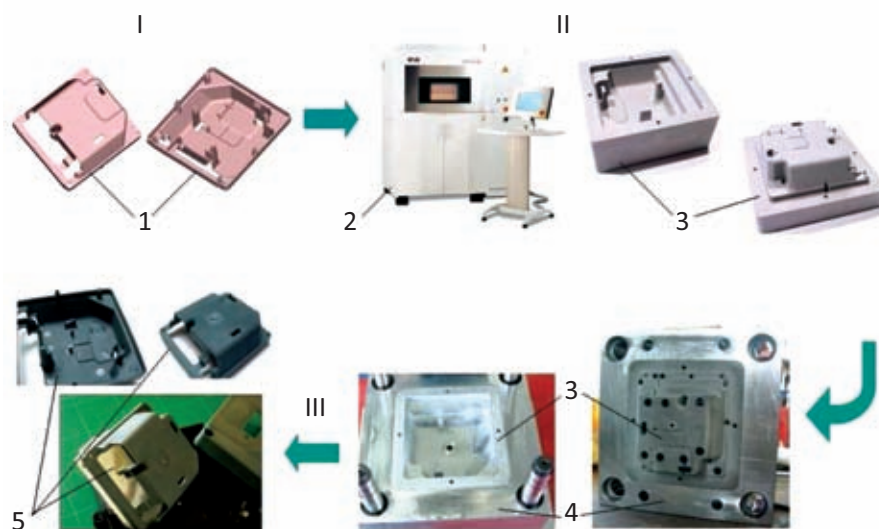


Рис. 2. Схема процесса производства деталей 5 из ТПМ в литевой форме 4 с комплектом ФОД 3, полученных спеканием из порошкообразной композиции марки EOS Alumide: I – проектирование САД-моделей деталей 1 и ФОД; II – изготовление на установке EOSINT P (2) комплекта ФОД 3; III – изготовление в литевой форме 4 с ФОД 3 деталей 5 (получены из ТПМ различного цвета)

- обратные конусы для удержания литников в подвижной полужоформе при раскрытии формы деформируются и не работают (из-за того, что не успевают охладиться);
- роль зацепов играют выталкиватели, пронизывающие литник насквозь или не менее чем на половину толщины;
- ограничение в толщине деталей (не более 4 мм);
- увеличение зазоров между формообразующими вставками из ПКМ и стальной обоймой, а также между самими вставками из ПКМ;
- точность изготовления сменных ФОД по их толщине остается такой же, как и у стальных ФОД, что позволяет исключить облой у отливок по плоскости разъема формы.

Для быстрого и экономичного изготовления пилотных серий деталей из штатного ТПМ необходимо иметь универсальную быстроперенастраиваемую литевную форму. Ниже кратко описан типовой технологический процесс изготовления пилотных серий деталей с использованием комплекта ФОД из модельных плит в такой литевной форме.

После создания компьютерной 3D-модели детали разрабатываются 3D-модели ФОД для опытной литевной формы. Затем составляются управляющие программы для станка с ЧПУ и изготавливаются ФОД. Как правило, трудоемкость их изготовления составляет 1–3 смены. Изготовленные ФОД монтируются в литевную форму (обычно в подвижную полужоформу). Литевая форма устанавливается на литевную машину и крепится прихватами. Неподвижная полужоформа подключается к термостату (к сетевой охлаждающей воде), после чего включается обогрев горячеканальной системы. Процесс литья деталей необходимо вести без «теплового шока» сменных ФОД, смазывая их рабочие поверхности термостойкой силиконовой или фторлоновой смазкой после каждого цикла литья. Время цикла составляет обычно от 20 до 120 с в зависимости от толщины стенки отливки. Серия деталей количеством в 100 шт. отливается в среднем за 3,0–3,5 ч в полуавтоматическом режиме работы формы.

Таблица 2. Физико-механические характеристики материала EOS Alumide

Показатель (стандарт испытаний)	Значение
Средний размер гранул (ISO 13320-1), мкм	60
Насыпная плотность (EN ISO 61), г/см ³	0,67
Плотность материала готовой детали (методика EOS), г/см ³	1,36
Модуль упругости при растяжении (EN ISO 527), МПа	3800
Предел прочности при растяжении, (EN ISO 527), МПа	48
Относительное удлинение при разрыве (EN ISO 527), %	4
Модуль упругости при изгибе (EN ISO 178), МПа	3600
Прочность при изгибе (EN ISO 178), МПа	72
Ударная вязкость по Шарпи (EN ISO 179)*, кДж/м ²	29 / 4,6
Твердость по Шору (ISO 868, метод D), отн. ед.	76
Температура плавления (EN ISO 11357-1), °С	172–180
Деформационная теплостойкость (ASTM D 648, 0,45 МПа), °С	78
Теплостойкость по Вика (EN ISO 306 В/50), °С	169
Коэффициент теплопроводности (при 170 °С), Вт/м·К	0,5–0,8

* В числителе - без надреза, в знаменателе - с надрезом.

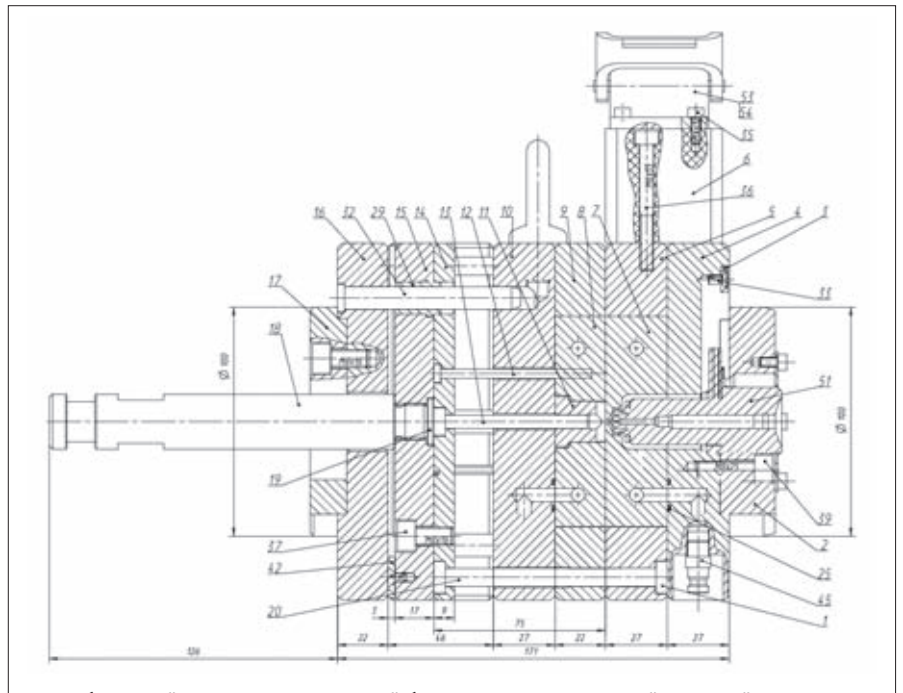


Рис. 3. Сборочный чертеж универсальной быстроперенастраиваемой литевной формы

Таблица 3. Физико-механические характеристики и рекомендуемые режимы резания модельного материала марки LAB 1000 (отвержденная полиуретановая композиция)

Показатель	Значение
Плотность, г/см ³	1,67
Прочность при изгибе, МПа	90
Модуль упругости при изгибе, МПа	5800
Модуль упругости при сжатии, МПа	110
Ударная вязкость по Шарпи (без надреза), кДж/м ²	12
Твердость по Шору (метод D), отн. ед.	88–89
Цвет	Серый
Линейный коэффициент теплового расширения (10–80 °С), К ⁻¹	50·10 ⁻⁶
Температура стеклования, °С	92
Температура деструкции, °С	> 200
Скорость резания, м/мин	Около 100
Скорость финишной обработки, м/мин	Около 400



Фото 1.
Комплект ФОД
из материала
LAB 1000
(серого цвета)
и изготовленные
в нем детали
из ТПЭ



Фото 2.
Комплект ФОД
из материала
ОВО 1000
(бежевого
цвета)
и изготовленные
в нем детали
из ТПЭ

На рис. 3 представлен чертеж универсальной быстроперенастраиваемой литьевой формы, разработанной в ООО «ИФ АБ Универсал». Время на переналадку, т. е. на смену комплекта ФОД, составляет 10–15 мин. В этой конструкции заменяется только формообразующая вставка (поз. 8) и подгоняются по длине выталкиватели (поз. 12 и 13). В эту же литьевую форму можно устанавливать сменные вставки и из других материалов.

После испытания нового изделия на деталях-прототипах, полученных по аддитивным технологиям, комплект ФОД, изготовленный фрезерованием на станках с ЧПУ из модельных плит (трудоемкость процесса составляет 1–3 смены), устанавливается в литьевую форму. Из марочного ассортимента ТПМ, выбранных конструктором изделия, на литьевой машине изготавливается необходимая для полномасштабных натуральных испытаний пилотная серия деталей. По результатам испытаний окончательно корректируется конструкция детали, а затем, если необходимо, изготавливается серийная литьевая форма.

В качестве примера на фото 1 и 2 представлены детали из штатного ТПМ и изготовленные из материалов LAB 1000 (см. фото 1) и ОВО 1000 (см. фото 2) комплекты ФОД.

Таким образом, изготовление фрезерованием на станках с ЧПУ комплекта ФОД из модельных плит из ПКМ позволяет быстро получить пилотную серию деталей из штатных ТПМ еще на стадии разработки изделия, что существенно снижает трудоемкость освоения новой продукции в серийном производстве.

Rapid Manufacturing of Pilot Series of Details from Thermoplastic Polymer Materials

A. V. Boyarintsev, V. G. Duvidzon, D. S. Podsoblyayev

This article is devoted to various options of technological preparation of injection moulding production with use of additive technologies which allow to make quickly a pilot series of details from thermoplastic polymer materials and significantly to lower costs of introduction of new products in a mass production. ■