

Е. А. Дьяченко, М. Ю. Козенко, Д. С. Шалухин, А. М. Макаров

**ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ ПРЯМОГО ОТЖИГА
НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ PEEK ПО ТЕХНОЛОГИИ FDM**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: zhenya.dyachenko.1999@gmail.com, kozenkomichael1999@yandex.ru,
Nisse3012@mail.ru, amm34@mail.ru

Проводится исследование влияние системы прямого отжига на процесс формирования изделий из материала PEEK по технологии FDM. Приведено описание процесса экструзии материала, изменения состояния PEEK при повышении температуры, описание изменения процесса при добавлении системы прямого отжига.

Ключевые слова: 3D-принтер, FFF/FDM, экструзия, термообработка, PEEK

E. A. Dyachenko, M. Yu. Kozenko, D. S. Shalukhin, A. M. Makarov

**STUDY OF A DIRECT ANNEALING SYSTEM IN THE PROCESS
OF FORMING PRODUCTS FROM PEEK USING FDM TECHNOLOGY**

Volgograd State Technical University

The influence of the direct annealing system on the process of forming products from PEEK material using FDM technology is being studied. A description of the process of extrusion of the material is given, the change in the state of PEEK with increasing temperature, a description of the change in the process when adding a direct annealing system.

Keywords: 3D-printer, FFF/FDM, extrusion, heat treatment, PEEK

На сегодняшний день технологии 3D-печати развиваются быстро, однако аддитивные методы производства сталкиваются с определенными трудностями. В частности, проблемы межслоевой когезии, особенно при использовании высокотемпературных филаментов, таких как PEEK, приводят к анизотропности изделий и разрушению вдоль слоев. Данная ситуация подчеркивает необходимость дальнейших исследований для повышения качества и надежности процессов 3D-печати [1].

Гипотезы исследования: существенный температурный разрыв между экструзией и изделием препятствует достаточному нагреву предыдущих слоев материала в точке спекания, что отрицательно сказывается на когезии. Для улучшения ситуации предлагается локально увеличивать температуру предыдущего слоя в момент спекания.

Основными параметрами, которые участвуют в формировании изделия по технологии FDM выступают: материал, объемный расход полимера при истечении через сопло, скорость перемещения печатающей головки, обдув, температура печатающей головки, температура стола и температура термокамеры.

Филамент проходит через экструдер с заданной скоростью подачи, нагревается от нагревательного блока выше температуры плавления и истекает из сопла на поверхность стола, с которым происходит адгезионное взаимодействие, или предыдущий слой полимера, с которым происходит когезионное взаимодействие (спекание), после чего он охлаждается воздухом из обдува для повышения качества детализации.

Температура печатающей головки выше температуры плавления материала на 20–150 °С в зависимости от текучести материала и конкретных значений скорости печати и скорости подачи материала. При этом важно отметить, что температура печатающей головки не равна температуре экструдированного полимера. Термистор показывает температуру материала печатающей головки. Фактически расплав холоднее на несколько десятков градусов. Точное значение зависит от теплопроводности материала нагревательного блока, площади контакта и объемного расхода полимера при истечении из сопла. Все это нужно учитывать при построении экспериментов, так как итоговые результаты на разных принтерах, могут отличаться в некоторых пределах.

Обычно значение температуры стола на 20–30 °С выше температуры стеклования, для улучшения адгезионных свойств при прилипании первых слоев изделия. Температура стола оказывает влияния на первые слои изделия, в пределах одного сантиметра от поверхности стола.

Все что находится выше этой зоны подвержено влиянию температуры термокамеры. При отсутствии активной термокамеры деталь по мере печати, остывая, усаживается, что в свою очередь может привести к искривлению геометрии, дефектам печати или ее срыву. Температура термокамеры устанавливается в пределах близких к температуре стеклования материала и позволяет равномерно прогревать изделие в процессе печати и контролировать равномерную усадку. Влияние термокамеры было освещено в предыдущих работах [2].

Обдув необходим, чтобы после спекания расплава с предыдущим слоем полимера, нить не расплывалась, нарушая геометрию изделия, а быстро охлаждалась до твердого состояния. Особенно это важно при печати нависаний и мелкой детализации, когда поверхность изделия может пострадать от температуры печатающей головки слишком долго находящейся на одном месте. Существующие системы обдува предполагают использование холодного воздуха за пределами термокамеры или непосредственно из термокамеры, что невозможно при печати высокотемпературными материалами. Бловеры, вентиляторы и компрессоры не поддерживают температуру термокамеры. А холодный воздух из внешней среды слишком охлаждает модель и приводит к неравномерной усадке и нарушению геометрии.

Фазовые состояния и термические свойства полимера PEEK: влияние на аддитивное производство.

Полиэфирэфиркетон (PEEK), известный как полукристаллический термопластический полимер, обладает уникальными физико-химическими свойствами, которые делают его перспективным для использования в 3D-печати и других высокотехнологичных приложениях. Его международное обозначение – PEEK (в России – ПЭЭК). На рис. 1 представлены примерные границы фазовых переходов вещества PEEK.

Эксплуатационная температура изделий из PEEK достигает 200 °С, при этом в указанном диапазоне материал остается в твердом кристаллическом состоянии. Важно отметить, что в данной температурной области тепловое рас-

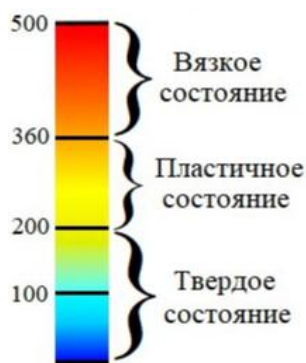


Рис. 1. Границы фазовых переходов для филамента PEEK

ширение полимера минимально, что делает его стабильным для использования в различных условиях. При повышении температуры, начиная с 200 °C, происходит увеличение внутренней пластичности материала без нарушения его общей формы. Температура плавления PEEK колеблется между 350 и 360 °C, в зависимости от конкретной марки полимера. После чего он переходит в вязкотекучее состояния и подходит для экструзии. Следует отметить, что при температуре плавления он еще слишком вязкий, что снижает скорость печати. На практике для экструзии принимаются значения 400–500 °C, так как выше температура PEEK тем меньше его вязкость.

Область параметров печати в технологии FDM для PEEK включает:

1. Температура печатающей головки 400–500 °C.
2. Температура термокамеры 200–250 °C.
3. Температура стола 200–250 °C.

Ключевым аспектом аддитивного производства является процесс спекаемости между слоями, который происходит благодаря передаче кинетической энергии молекул расплава на предыдущий слой. При этом необходимо, чтобы энергия этих молекул была достаточной для того, чтобы повысить температуру молекул предыдущего слоя и инициировать рекристаллизацию с целью формирования монолитной структуры. Одной из значительных проблем, связанных с использованием PEEK, является большой температурный разрыв между температурой расплава и температурой изделия. В результате энергия молекул расплава часто оказывается недостаточной для достижения качественной спекаемости.

В качестве одного из решений обозначенной проблемы выступает термическая обработка изделий из PEEK на протяжении нескольких

суток при температуре 200–240 °C. После этого значения PEEK переходит в пластическое состояние, он становится более упругим и ползучим, происходит снятие внутренних напряжений. Но слоистость остается, так как не происходит полная рекристаллизация вещества, для образования монолитной структуры.

Видимым эффектом полной кристаллизации PEEK выступает его мутность. Если модель из PEEK частично или полностью прозрачная, стекловидная, значит полная кристаллизация полимера не произошла. Полная кристаллизация происходит в зависимости от марки PEEK на 300–360 °C.

Для оптимизации процесса спекаемости предлагается внедрение системы прямого отжига, представляющей собой обдув с контролируемой температурой воздуха. Основная идея состоит в подводе подогретых воздушных масс для выполнения двух функций: обдува модели с целью повышения детализации и локального увеличения температуры предыдущего слоя для сокращения разрыва между температурой расплава и изделия. Для реализации данной стратегии необходимо правильно подбирать параметры объема воздушного потока и его температуры, чтобы температура предыдущего слоя была на 10–15 градусов ниже температуры плавления. Это обеспечивает одновременно охлаждение модели и предотвращение искажения геометрии, что, в свою очередь, повышает межслойную когезию. В дальнейшем зона спекания плавно опускается до температуры термокамеры. Это показано на рис. 2.

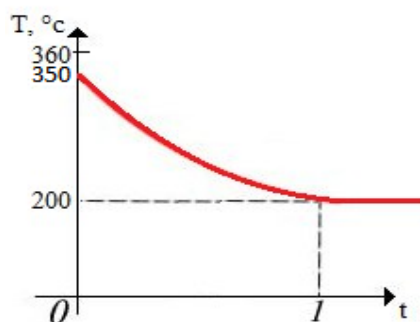


Рис. 2. Границы фазовых переходов для филамента PEEK

В заключение следует отметить перспективность дальнейших исследований в этом направлении, в виду их большой практической значимости для промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. FDM-печать // top3dshop: офиц. сайт. – URL: <https://top3dshop.ru/blog/metod-poslojnogo-naplavleniya.html>
2. Исследование влияния термостатирования рабочей области на механические свойства изделий, получаемых методом послойного наплавления / М. Ю. Козенко, А. М. Макаров, Е. А. Дьяченко, О. И. Сушкова // Известия

ВолгГТУ : научный журнал № 3 (238) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 73–76.

3. Понимание температуры плавления пластика РЕЕК: глубокое погружение в свойства полиэфирэфиркетона // goldsupplier : офиц. сайт. – URL: <https://blog.goldsupplier.com/ru/peek-melting-temperature/>