

## АНИЗОТРОПИЯ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ИЗДЕЛИЯХ АДДИТИВНОГО СИНТЕЗА

**Введение.** Существует множество технологий, которые можно назвать аддитивными, объединяет их одно: построение модели происходит путем добавления материала в отличие от традиционных технологий, где создание детали происходит путем удаления «лишнего» материала. В своей работе мы исследовали технологию FDM-печати в основе которой лежит выдавливание расплава термопластичного материала в виде нити с нанесением ее на ранее синтезированные слои, так называемый послойный синтез.

**Цель** – выявление механизма влияния технологических факторов на анизотропию показателей прочностных свойств за счет обеспечения необходимых температурных параметров в зоне контакта между слоями, обработка методики определения показателей свойств материалов с учетом их анизотропии и установление зависимости между параметрами процесса и анизотропии свойств.

### Основная часть.

Послойная структура материала, связанная с реализацией технологии, приводит к возникновению анизотропии эксплуатационных свойств по направлениям синтеза и существенным по величине усредненным напряжениям в изделиях.

При нанесении слоев полимера друг на друга возникает адгезионное взаимодействие между ними, величина которого обуславливает анизотропию свойств. Основным фактором, определяющим адгезионную связь между слоями, является температура в зоне контакта  $T_k$ . Наибольшие показатели адгезии реализуется в случае, когда  $T_k$  превышает температуру плавления  $T_p$ .

В виду особенностей технологии на  $T_k$  существенное влияние могут оказывать (см. рисунок 1):

- толщина слоя материала  $h$  (0,05–1 мм)
- температура экструдера  $T_3$  и расплава, выдавливаемого полимера  $T_1$
- линейная скорость движения экструдера  $v$  (30–100 мм/с);
- производительность по объему выдавливаемого материала  $Q$ ;
- температура термостатирования области печати  $T_c$  (рабочего стола или подложки).

Для оценки анизотропии механических свойств, с учетом анизотропии материала по направлениям синтеза, были изготовлены образцы (рисунок 1).

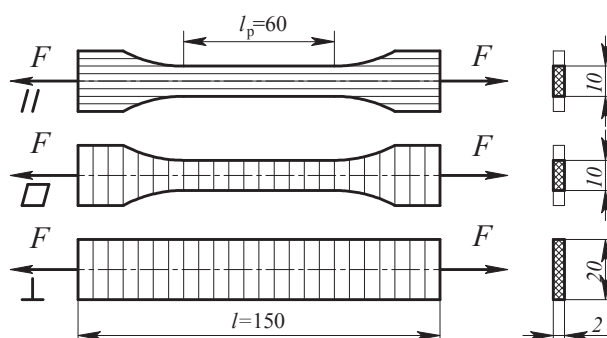


Рисунок 1 – Виды образцов

Чтобы изучить влияние технологических параметров, а также проверить гипотезу о влиянии на адгезию температуры в зоне контакта между слоями в разных направлениях, необходимо оценить физико-механические свойства материала в данных направлениях. Для этого использовали ГОСТ 11262–80 для полимерных материалов.

В качестве критерия для оценки анизотропии необходимо использовать значение предела прочности для образцов в различных направлениях:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Для численной оценки анизотропии свойств по направлениям определяют коэффициенты анизотропии по направлениям  $C$ :

$$C_{//} = \frac{\sigma_{\text{э}}}{\sigma_{//}}; C_{\perp} = \frac{\sigma_{\text{э}}}{\sigma_{\perp}}; C_{\square} = \frac{\sigma_{\text{э}}}{\sigma_{\square}}$$

где  $\sigma_{\text{э}}$  – эталонный показатель прочности;  $\sigma_{//}$ ,  $\sigma_{\square}$ ,  $\sigma_{\perp}$  – прочность материала в продольном, поперечном направлении и в направлении синтеза соответственно.

Показатели прочности при нагружении в направлении слоев не зависят от сил адгезионного взаимодействия между ними. Это связано с тем, что при испытании образцов на растяжение возникают лишь продольные напряжения, которые направлены вдоль слоев печати.

На адгезионную связь между слоями в обоих поперечных направлениях влияние оказывают (рисунки 2а-б):

– толщина слоя  $h$ . Чем тоньше слой, тем меньше объем наносимого материала и тем самым меньше количество тепла, подаваемого в зону контакта, т.е. ниже температура  $T_{\text{к}}$ .

– скорость перемещения экструдера  $v$ . Чем ниже скорость, тем выше температура  $T_k$  за счет большей доли влияния теплопередачи от экструдера и наоборот.

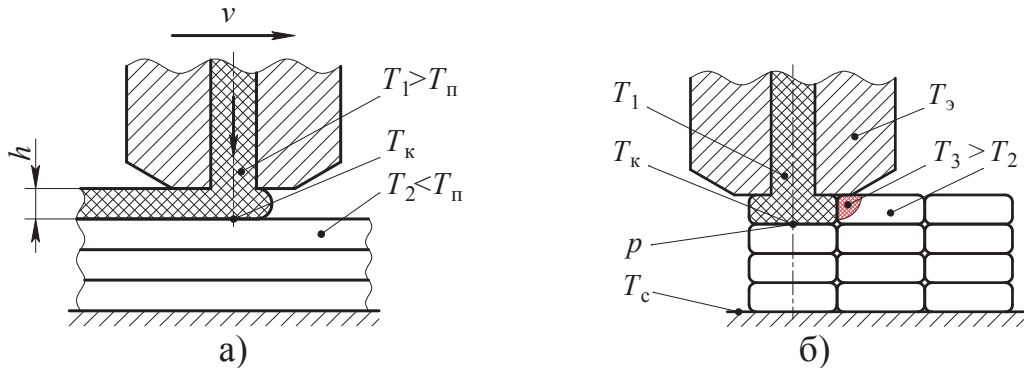


Рисунок 2 –Схема нанесения слоев в поперечных направлениях (а – направление синтеза; б – направление поперечное столу) печати

– баланс температур между наносимым ( $T_1$ ) и предыдущим слоем ( $T_2$ ) – чем выше значения  $T_1$  и  $T_2$ , тем более вероятен прогрев зоны контакта  $T_k$  до температуры плавления полимера  $T_m$  (рисунок 3а-б).

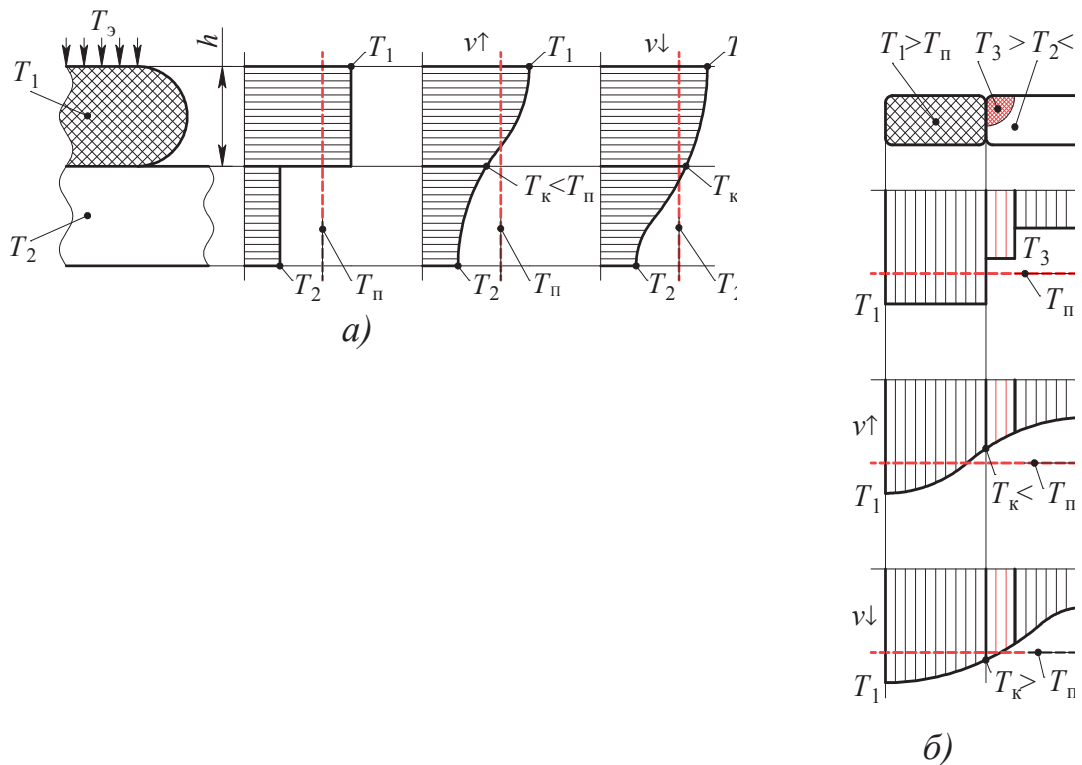


Рисунок 3 – Температура в зоне контакта между слоями в поперечных направлениях печати (а – направление синтеза; б – направление поперечное столу)

Главной отличительной особенностью при реализации FDM-печати является последовательность усадочных явлений (рисунок 4). В точке нанесения материала он находится в определенных условиях по мере удаления от рабочего инструмента (сопла) происходит изменения состояния и объема. При переходе печати на последующий слой, рабочий инструмент движется по математической траектории соответствующей требуемой геометрии, однако предыдущий слой, на который поступает материал уже изменил свои размеры за счет усадки.

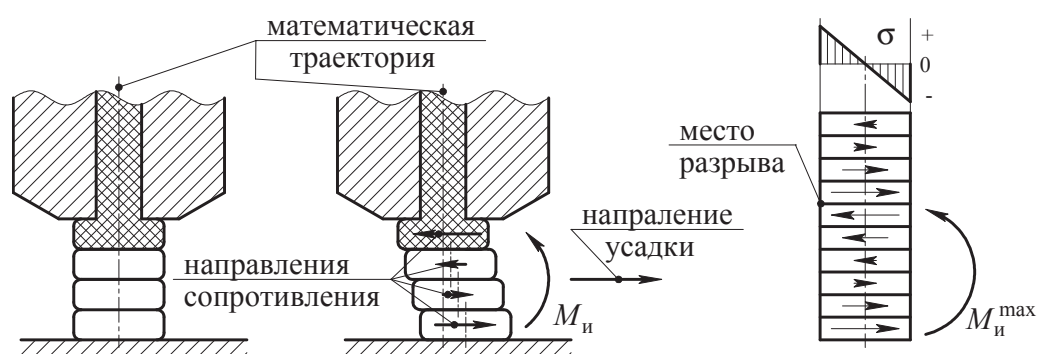


Рисунок 4 – Усадочные явления в материале

За счет действия адгезионной связи между слоями при усадке текущего слоя происходит дополнительное деформирование предыдущего. И так происходит последовательно для всех слоев. В каждом слое возникают силы сопротивления усадочным деформациям величина которых увеличивается, а направление меняются по мере увеличения количества слоев. Это приводит к возникновению и постоянному увеличению внутреннего изгибающего момента  $M_i$  в материале по высоте изделия. При этом возникают нормальные напряжения между слоями в направлении синтеза изделия. Когда величина усадочных напряжений превышает показатель прочности  $\sigma_{\perp}$ , происходит отрыв слоев.

**Заключение.** В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований подтверждена гипотеза об анизотропии свойств материалов аддитивного синтеза и влиянии на нее технологических параметров процесса. Полученные результаты могут быть использованы при оптимизации параметров процесса по критерию обеспечения эксплуатационных свойств материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. Пособие для инженеров. ©ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» Москва 2015. 219 с.