

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Приходько В.М., Сундуков С.К.

Московский автомобильно–дорожный государственный технический университет
г. Москва, Россия, E-mail: sergey-lefmo@yandex.ru

Аддитивное производство, основанное на послойном изготовлении изделий по компьютерной 3D–модели, является одной из самых перспективных отраслей современной промышленности. Возможности аддитивного производства позволяют изготовить изделия любой (уникальной) формы, создавать многоматериальные изделия, снизить материалоемкость производства, уменьшить количество сборочных единиц. Тем не менее, имеются технические и экономические барьеры, препятствующие широкому распространению технологий аддитивного производства [1]:

- анизотропия свойств деталей, что обусловлено послойным изготовлением;
- высокая шероховатость поверхности (особенно для металлических изделий);
- низкая скорость производства;
- ограниченный выбор и высокая стоимость материалов;
- различия геометрических и механических свойств идентичных деталей, произведённых на различных установках;
- закрытая архитектура большинства установок аддитивного производства, что не позволяет варьировать условия обработки.

В данной работе рассмотрены перспективы применения ультразвуковых колебаний в различных процессах аддитивного производства.

1. Изготовление объектов путем послойной наплавки (FDM, Fused Deposition Modeling) – применяется для изготовления концептуальных и функциональных моделей. В качестве материала используются полилактид (PLA) и акрилонитрилбутадиенстирол (АБС–пластик), который в форме нити подается в экструдер и расплавляется в разогретом сопле–дозаторе, движениями которого непосредственно управляет программное обеспечение. После экструзии из сопла, материал остывает и затвердевает практически сразу после экструзии, соединяясь с предыдущими слоями.

В МАДИ проведены исследования по повышению качества получаемых моделей путём добавления в нить АБС–пластика алюминиевой пудры. В результате отмечено снижение параметров шероховатости, силы трения и повышение твёрдости образцов. Но при этом возникли сложности в процессе экструдирования: с увеличением концентрации алюминиевой пудры затруднялось прохождение нити через сопло вплоть до полной закупорки. Это связано с увеличением силы трения в сопле и поглощением части тепла, выделяемого на плавление нити, частицами алюминия.

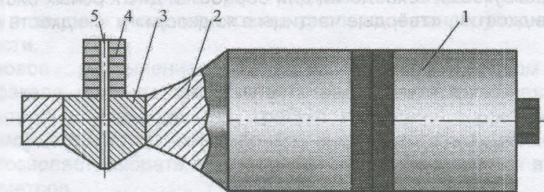


Рисунок 1 – Схема передачи колебаний на сопло экструдера: 1 – преобразователь; 2 – излучатель; 3 – сопло; 4 – нагревательный элемент; 5 – канал подачи нити

Для решения данной проблемы предлагается модернизация конструкции экструдера путём передачи ультразвуковых колебаний на сопло (рис. 1). В результате снижается трение между стенками отверстия сопла и подаваемым материалом, что позволяет избежать снижения нагрева нити.

2. Селективное лазерное плавление (SLM, Selective Laser Melting). Является наиболее перспективным с точки зрения промышленности. За счёт высокой мощности лазера с небольшим фокусирующим пятном наилучшим образом подходит для изготовления изделий из металлических порошков. Устройство подачи наносит порошок на предварительно подготовленную и установленную подложку. Лазерное излучение по программе избирательно плавит порошок. После селективного лазерного плавления первого слоя подложка опускается на заданную толщину слоя, далее устройством подачи расстилается новый слой порошкового материала, и процесс повторяется, пока деталь не будет закончена [2].

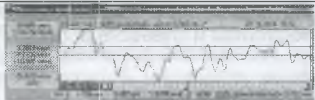
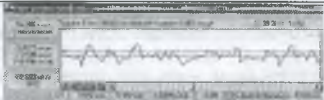
Поверхность, полученная SLM, характеризуется неоднородным рельефом и высокой шероховатостью, являющейся следствием большого количества включений, образованных в результате разбрызгивания металла в ванне расплава.

В результате деталь требует дальнейшей механической обработки. И если внешние поверхности и отверстия с прямой осью симметрии возможно обработать традиционными способами, то для сложнопрофильных внутренних каналов и полостей, получение которых является главным преимуществом аддитивных технологий, требуется разработка специфических способов обработки [3].

В лаборатории электрофизических методов обработки МАДИ с целью повышения качества поверхностей, обладающих сложной геометрией, предлагается использовать ультразвуковые технологии жидкостной обработки.

Наибольшую эффективность показал метод обработки с добавлением абразивного материала. Обработка в течение 5 минут привела к значительному изменению шероховатости поверхности (табл. 1): снижению высотных параметров (R_a , R_z , R_{max}) на 50–60%, уменьшению среднего шага неровностей S_m в 2 раза и увеличению опорной длины профиля на 10% [4].

Таблица 1 – Параметры шероховатости образцов из стали РН–1

Вид обработки	Без обработки	Кавитационно–абразивная
Профилограммы		
Параметры шероховатости	$R_a=17,9$; $R_z=99,8$; $R_{max}=111$ $S_m=295$; $tp_{90}=86,9$	$R_a=7,51$; $R_z=48,2$; $R_{max}=57,8$; $S_m=202$; $tp_{90}=96,3$

3. Технология UAM (Ultrasonic additive manufacturing) – является комбинацией аддитивной и вычитающей технологий. Металлическую фольгу накачивают роликом, к которому при этом прикладывают нормальную силу.

Ультразвуковые колебания направлены поперечно движению ролика (рис. 2). В месте контакта двух листов фольги происходит разрушение оксидной пленки, возникает пластическая деформация и тепловыделение, которого достаточно для диффузионного проникновения молекул одного металла в другой, т.е. происходит сварка слоев фольги. Затем сформированный слой фольги обрабатывают фрезерованием.

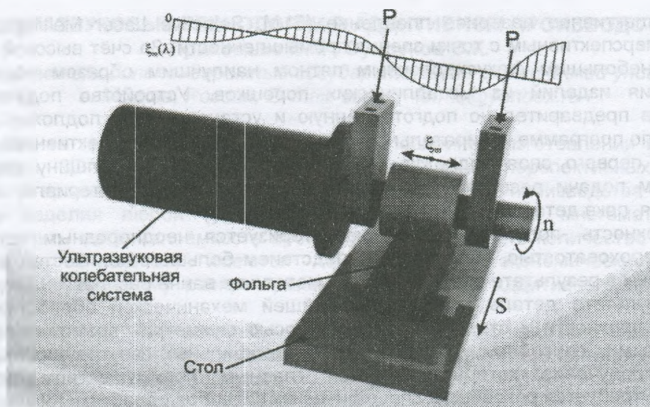


Рисунок 2 – Схема ультразвуковой сварки алюминиевой фольги

4. Послойное изготовление объектов из листового материала (LOM, Laminated Object Modeling). Система LOM составляет изделие/деталь из контурно-вырезанных листов материала и скрепленных друг с другом (в основном, применяются клеевые соединения).

Применение ультразвука в данной технологии позволяет повысить прочность клеевых соединений. В результате наложения ультразвуковых колебаний снижается вязкость клеевого состава, обеспечивается равномерность его распределения, за счёт звукокапиллярного эффекта увеличивается проникновение клея в микро- и субмикронеровности, что увеличивает площадь схватывания. Результаты предварительных экспериментов показали увеличение прочности клеевых соединений на 20–50% в зависимости от режима обработки и клеевого состава.

Список литературы:

1. «Wohlers Report 2013», Wohlers Associates, (2013)
2. Конов С.Г., Котобан Д.В., Сундуков С.К., Фатюхин Д.С. Перспективы применения ультразвуковых технологий в аддитивном производстве // Научные технологии в машиностроении. – 2015. – № 9.
3. Сундуков С.К., Сухов А.В., Чендаров А.С. Применение ультразвука в технологическом процессе послойного синтеза изделий из ферритных сталей // Научные технологии на современном этапе развития машиностроения. Материалы 8-й Международной научно-технической конференции 19–21 мая. – 2016. – С. 221–223.
4. Нигметзянов Р.И., Сундуков С.К., Фатюхин Д.С. Влияние ультразвуковой обработки на шероховатость поверхности деталей, полученных аддитивными технологиями // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2016. – № 1 (315). – С. 47–53.