

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Малов Илья Евгеньевич*

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Московский государственный  
технический университет им. Н.Э. Баумана»

г. Москва

### ВЫСОКОТОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

*Аннотация:* отмечается, что постоянно растущие темпы развития человеческого общества обуславливают необходимость создания максимально гибких технологий, позволяющих в кратчайшие сроки получать требуемые изделия. В данной статье автором рассматривается вопрос технологий быстрого прототипирования.

*Ключевые слова:* высокоточные технологии, прототипирование.

Технологии быстрого прототипирования начинают свою историю с 80-х годов прошлого века. К настоящему моменту разработано несколько десятков технологий, использующих принцип послойного построения трёхмерных объектов. Видное место среди этих технологий занимает лазерная стереолитография. Данная технология позволяет синтезировать наиболее точные и сложные изделия. В силу, высокой стоимости большинства, предлагаемых на рынке, лазерных стереолитографических установок, они не получили широкого распространения.

С целью снижения стоимости оборудования и улучшения ряда технических характеристик, в МГТУ им. Н.Э. Баумана была разработана и изготовлена, стереолитографическая установка на базе твердотельного лазера, генерирующего излучение с длиной волны 532 нм. А также, фотополимеризующаяся композиция, способная твердеть под воздействием данного излучения.

Постоянно растущие темпы развития человеческого общества обуславливают необходимость создания максимально гибких технологий, позволяющих в кратчайшие сроки получать требуемые изделия. К числу таких технологий, относятся технологии быстрого прототипирования (RP), бурно развивающиеся с конца 80-х годов. В первую очередь данные технологии получили развитие в странах с развитым производством, поскольку позволяли в разы сократить сроки и финансовые затраты на подготовку массового производства, а также упростить получение и снизить себестоимость изделий единичного и мелкосерийного производства.

В настоящее время «Rapid Prototyping» (RP) насчитывает несколько десятков технологий, наиболее известными из которых являются: FDM – создание моделей путём нанесения расплава (модели, полученные данным способом представлены на рисунке 1 а), MultiJet – технология 3D-печати (рис. 1 б), технология пропитки порошков (рис. 1 в), LOM – изготовление изделий путём ламинации (рис. 1 г), SLS – селективное лазерное спекание (рис. 1 д), SLA – лазерная стереолитография (рис. 1 е).



а



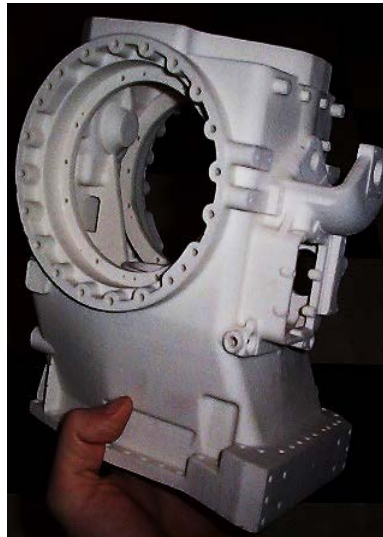
б



в



г



д



е

Рис. 1. Изделия, полученные разными технологиями быстрого прототипирования: а – FDM, б – MultiJet, в – пропитка порошков, г – LOM, д – SLS, е – SLA.

Видное место среди методов быстрого прототипирования занимает лазерная стереолитография (ЛС) поскольку позволяет синтезировать наиболее сложные и наиболее точные модели. Суть данной технологии заключается в послойном формировании изделия путём пространственно-селективного отверждения жидкой фотополимеризующейся композиции (ФПК) сфокусированным лазерным лучом. Непосредственно процесс формирования изделия длится, как правило, от нескольких минут до нескольких десятков часов (в зависимости от размеров получаемой детали). Позиционирование лазерного луча осуществляется в соответствии с командами, поступающими от системы управления, исходными данными для которой является трёхмерная компьютерная модель выращиваемой детали, сохранённая в специальном формате (например, SLI). Принимая во внимание, тот факт, что построение компьютерной модели в настоящее время не представляет собой особых сложностей и не требует значительных затрат времени, легко понять, что метод лазерной стереолитографии является весьма гибким и позволяет получать детали практически любой формы и степени сложности. Это делает данную технологию идеально подходящей для подготовки крупносерийного и массового

производств, а также для получения изделий в единичном и мелкосерийном производствах, характеризующихся малыми партиями и большой номенклатурой выпускаемых изделий.

В настоящее время, лазерная стереолитография активно внедряется в производственный процесс по целому ряду направлений, где использование этой современной технологии является оптимальным, а порой и единственно возможным. В качестве примера можно привести такое направление, как медицина (нейрохирургия, челюстно-лицевая хирургия и др.), где с использованием SLA-технологии изготавливают персонифицированные биосовместимые имплантанты, для пациентов с повреждениями черепа, суставов и др. В ювелирной промышленности лазерная стереолитография также находит всё более широкое применение, поскольку данная область характеризуется малыми партиями и большой номенклатурой выпускаемых изделий. В промышленности, данная технология используется, как подсобный инструмент для инженеров и дизайнеров, поскольку позволяет в короткие сроки получить новое разработанное изделие и оценить его характеристики и эстетические качества, провести аэродинамические и гидродинамические испытания, а также получить конечное изделие, отлив его из металла либо другого литейного материала.

Сдерживающим фактором, препятствующим широкому внедрению данной технологии, является достаточно высокая стоимость оборудования и его обслуживания. Цены на фотополимеризующую композицию, из которой формируются изделия, также по сей день остаются относительно высокими, и составляют от 100 до 300 У.Е. за один килограмм.

В настоящее время, безусловными лидерами в производстве лазерных стереолитографических установок являются западные компании, выпускающие также фотополимеризующиеся композиции, спектр которых настоящему времени существенно расширился. В России также осуществляется единичное производство лазерных стереолитографических установок.

Устройство и принцип работы большинства ныне существующих стереолитографов во многом аналогичны: отверждение фотополимеризующейся композиции (ФПК) осуществляется ультрафиолетовым лазерным лучом, который позиционируется при помощи системы перемещения сканаторного типа. Важными достоинством сканаторов, является компактность, а также малая инерционность, что позволяет обеспечить высокие скорости перемещения лазерного луча при достаточно высокой точности его позиционирования. Однако данные системы не лишены и ряда существенных недостатков, накладывающих принципиальные ограничения на характеристики и области применения лазерных стереолитографов. Например, ограниченные размеры поля обработки. Это объясняется тем, что максимальный угол отклонения сканатора имеет фиксированное значение, поскольку с увеличением угла точность позиционирования луча становится меньше и происходит смещение фокуса относительно поверхности ФПК, что приводит к увеличению погрешности размеров получаемых деталей.

Использование традиционного для SLA-технологии лазерного излучения УФ диапазона также сопряжено с рядом трудностей. Газовые лазеры, которыми комплектовались первые стереолитографы, имели ограниченный срок службы отпаянной трубки – от 1000 до 2000 часов. Стоимость трубки доходила до 2000 долларов, что вело к большим затратам на сервисное обслуживание данных установок. Также лазеры такого типа имели низкую стабильность параметров генерации и не отличались высокой надёжностью. С конца 90-х годов, и по сей день, западные установки комплектуются твердотельными Nd:YVO<sub>4</sub> – лазерами с преобразованием излучения в третью гармонику. Поскольку излучение, генерируемое кристаллом Nd:YVO<sub>4</sub>, имеет длину волны 1064 нм (ИК диапазон), в силу низкой энергии кванта, оно не способно вызывать инициацию реакции полимеризации. Поэтому, с помощью нелинейных оптических элементов длина волны генерации уменьшается втрое до 355 нм (УФ диапазон). Такие системы обладают большей надёжностью и стабильностью по сравнению с газовыми лазерами, но в силу сложности конструкции являются весьма дорогостоящими.

Консервативность в применении лазеров УФ диапазона в большой степени связана со значительными успехами, достигнутыми как в нашей стране, так и на западе, в создании жидких ФПК полимеризуемых УФ излучением. Наряду с серийным выпуском установок, налажен и серийный выпуск нескольких видов композиций под УФ излучение.

После анализа тенденции развития технологии лазерной стереолитографии, в МГТУ им. Н.Э. Баумана были проведены работы по созданию новой лазерной стереолитографической установки в конструкцию, которой заложены инженерные решения, позволяющие снизить стоимость оборудования, и избежать ряда проблем, с которыми сталкиваются пользователи традиционных стереолитографов.

Одним из новшеств, реализованных в новой установке, является использование в технологии лазерной стереолитографии лазера с диодной накачкой работающего в зелёном диапазоне ( $\lambda = 532$  нм). С точки зрения лазерной техники лучшим выбором является видимый или инфракрасный диапазон спектра. Мощность твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой, генерирующих в зелёном диапазоне в настоящее время может составлять десятки ватт. Наряду с этим они имеют: низкое энергопотребление, сравнительно низкую стоимость, высокую надёжность в течение всего срока службы, высокое качество излучения, малые габаритные размеры и массу, а также различные режимы генерации излучения, позволяющие оптимизировать разработку оборудования. Оптические системы для видимого диапазона хорошо разработаны и позволяют использовать все известные схемы сканирования лазерного луча и световолоконной оптики.

Однако зелёное излучение обладает более низкой энергетикой по сравнению с ультрафиолетовым, и не способно полимеризовать традиционные ФПК, поэтому до сих пор оно не использовалось в данной технологии. В связи с этим, была разработана ФПК способная с достаточной (для применения в стереолитографии) эффективностью полимеризоваться под воздействием излучения с длиной волны 532 нм. Новая композиция позволила уменьшить

глубину полимеризации одиночного слоя в воздушной среде до 15 мкм, что в свою очередь повысило разрешающую способность SLA технологии.

Чтобы избежать проблем, связанных с использованием сканаторов, традиционных для данной технологии, в новой стереолитографической установке использована плоттерная система перемещения лазерного луча. Такая замена открывает новые перспективы для создания установок способных выращивать прототипы практически любых размеров. Также это позволяет избежать таких недостатков сканаторной схемы, как не перпендикулярность луча поверхности обработки, зависимость диаметра луча от максимально возможных размеров поля обработки, уменьшение точности позиционирования луча с увеличением угла его отклонения.

Кроме того, использование данных технических решений позволяет уменьшить габаритные размеры оборудования, снизить его стоимость, а также упростить требования к помещениям, в которых оно эксплуатируется. Это в свою очередь существенно расширяет круг потенциальных потребителей и делает оборудование доступным для приобретения не только крупными машиностроительными компаниями, но и средними предприятиями, медицинскими центрами, компаниями ювелирной промышленности, дизайнерскими студиями, научно-исследовательскими и учебными учреждениями.