

Лазерная стереолитография

**А.В.Евсеев, В.С.Камаев, Е.В.Коцюба, М.А.Марков,
М.М.Новиков, В.Я.Панченко**

В статье приводятся результаты разработки технологии и оборудования лазерной стереолитографии для оперативного изготовления трехмерных объектов сложной формы по их компьютерным моделям, созданным средствами САПР.

Современное машиностроение характеризуется непрерывно увеличивающейся долей затрат на разработку и подготовку производства новых изделий, а также ростом удельного веса продукции, выпускаемой небольшими сериями, или даже в единичных экземплярах. Достижение высокого качественного уровня новых разработок, обеспечение их конкурентоспособности и оперативное реагирование на спрос требуют быстрой смены номенклатуры выпускаемых изделий и, как следствие, максимального ускорения процесса конструирования и изготовления экспериментальных и опытных образцов. Современные системы компьютерного проектирования, оснащенные мощной трехмерной графикой и экспертными системами, позволяют значительно сократить затраты времени и средств на разработку и конструирование новых изделий. Однако проблема изготовления первого физического образца — даже детали достаточно простой формы — остается наиболее узким местом, поскольку разработка технологии изготовления детали и соответствующей оснастки зачастую требуют затрат сопоставимых со стоимостью разработки самого изделия. Поэтому актуальной является задача разработки технологий и соответствующего оборудования для оперативного изготовления трехмерных объектов сложной формы по их компьютерным моделям, созданным средствами САПР.

Одной из таких технологий является лазерная стереолитография.

Современная лазерная стереолитография интегрирует в себя последние достижения в области квантовой электроники и нелинейной оптики,

информационных технологий, физики и химии высокомолекулярных соединений, прецизионной механики. На данный момент эта технология позволяет решать как задачи оперативного изготовления пластиковых копий трехмерных компьютерных моделей с габаритным объемом до 1 м^3 с точностью не хуже $0,1 \text{ мм}$, так и микрообъектов и микроструктур с разрешением порядка $0,1 \text{ мкм}$. Последние достижения в области формирования микрообъектов достигнуты в результате использования многофотонного возбуждения многоатомных молекул в интенсивных лазерных полях фемтосекундных лазеров.

В настоящее время в мире работает свыше 2500 установок лазерной стереолитографии, основным производителем которых является фирма 3D Systems. Область применения стереолитографии непрерывно



Рис.1. Установки лазерной стереолитографии ЛС-250 (слева) и ЛС-120 (справа).

расширяется и в настоящее время она проникла практически во все сферы производственной и исследовательской деятельности, т.к. позволяет оперативно (всего за несколько часов) изготавливать пластиковые копии трехмерных объектов и структур с практически сколько угодно сложной формой поверхности.

В России работы по лазерной стереолитографии были начаты в 1991 году. В результате в ИПЛИТ РАН разработана отечественная версия безотходной, экологически чистой технологии прямого формообразования деталей и созданы установки лазерной стереолитографии ЛС-120 и ЛС-250 (рис.1) для оперативного изготовления трехмерных объектов (изделий) практически любой степени сложности из отверждаемых под действием лазерного излучения полимерных (в том числе композитных) материалов.

Лазерная стереолитография реализует принцип прямого формообразования трехмерных объектов путем послойного наращивания материала. Исходным объектом для лазерной стереолитографии является трехмерная компьютерная модель, созданная средствами САПР. Спроектированный на компьютере трехмерный объект выращивается из жидкой фотополимеризующейся композиции (ФПК) последовательными тонкими (0,1-0,3 мм для ЛС-250 или 0,025-0,1 мм для ЛС-120) слоями, формируемыми под действием лазерного излучения на подвижной платформе, погружаемой в ванну с ФПК. Шероховатость поверхности изготовленных деталей без какой-либо обработки не превышает 100 мкм для ЛС-250 и 25 мкм для ЛС-120. Пластиковые модели хорошо шлифуются и полируются. Прочность готовых деталей сравнима с прочностью изделий из отвержденных эпоксидных смол. Готовые модели выдерживают

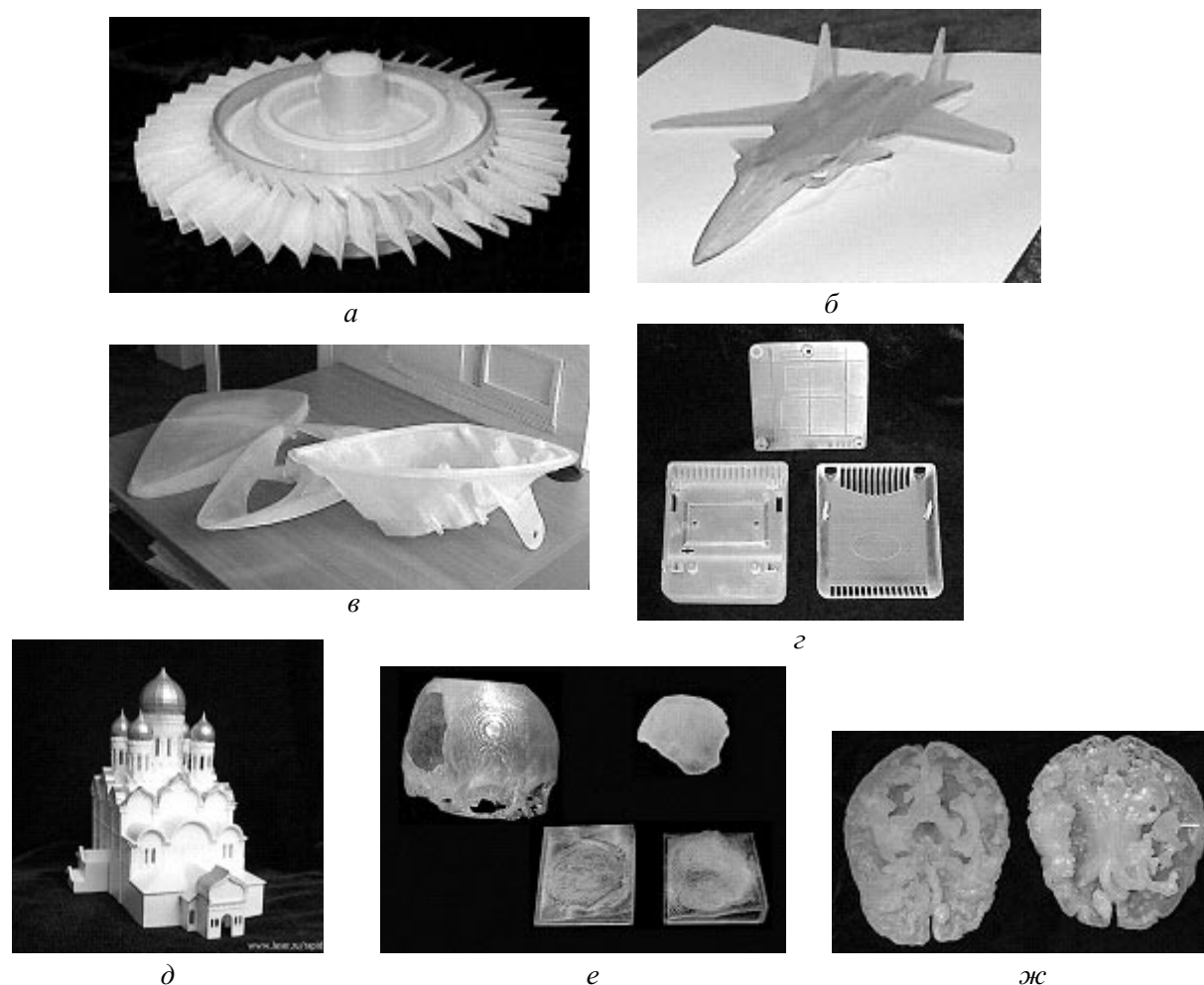


Рис.2. Пластиковые копии а) “моноколеса” турбины; б) истребителя; в) блока фары автомобиля; г) храма; е) черепа, имплантата и пресс-ворма; ж) мозга с патологией.

нагрев до 100°C без изменений формы и размеров. Максимальные размеры изготавливаемых объектов составляют 250×250×250 мм для ЛС-250 и 120×120×120 мм для ЛС-120. Точность изготовления $\pm 0,1$ мм. Выращивая детали по частям, можно создать модели и больших размеров. Разработанные установки лазерной стереолитографии предназначены для оперативного изготовления:

- концептуальных моделей с целью отработки дизайна и компоновки;
 - мастер-моделей;
 - оснастки для разных видов литья металлов, сплавов и пластмасс;
 - инструмента для гальванопластики,
- и позволяют изготавливать пластиковые копии компьютерных моделей с производительностью до 1000 см³ в сутки и сколько угодно сложной формой поверхности с точностью 0,1 мм. Изготовленные методом лазерной стереолитографии пластиковые модели (рис.2) могут использоваться в различных областях человеческой деятельности:
- точное машиностроение (рис.2а),
 - авиа- и космическая промышленность (рис.2б),
 - автомобильная промышленность (рис.2в),
 - радиоэлектроника (рис.2г),
 - медицина и медицинская техника (рис.2д),
 - архитектура и строительство (рис.2е),
 - образование и подготовка кадров (рис.2ж).

Использование лазерной стереолитографии позволяет значительно (до десяти раз, а в условиях России, по-видимому и больше) сократить затраты времени на изготовление опытных изделий и подготовку их производства. Например, для изготовления методом литья по выжигаемой модели опытного образца сложного моноколеса для турбореактивного двигателя на одном из предприятий НПО “Сатурн” потребовалось менее двух недель (сутки на изготовление пластиковой модели, сутки на доставку модели, остальное — подготовка литейного дерева, выжигание модели и собственно литье). Традиционный подход (проектирование и изготовление многоэлементной, очень сложной оснастки для получения восковых моделей) потребовал бы не менее полугода, если вообще удалось бы реализовать идею создания монолитного (а не собираемого) изделия с заданным профилем лопаток.

Дальнейшее развитие предполагает создание установки лазерной стереолитографии ЛС-350 с рабочим объемом 350×350×500 мм, повышение производительности установок и точности изготовления моделей (25 мкм удовлетворило бы большую часть потребностей современного машиностроения) и расширение набора фотоотверждаемых материалов для прямого изготовления функциональных деталей методом лазерной стереолитографии.