

УДК 621.3.06:658

Повышение качества подготовки производства применением технологий быстрого прототипирования

Б.В. Бойцов; М.Ю. Куприков, Ю.В. Маслов

Аннотация

В работе рассматриваются основные методы и способы создания прототипов проектируемых деталей объектов аэрокосмической техники на этапах разработки конструкции. Технологии быстрого прототипирования позволяют провести проверку правильности созданной конструкции, оптимизировать ее и таким образом уже на ранних этапах жизненного цикла обеспечить требуемое качество продукции. Показаны возможные области применения технологий быстрого прототипирования при проектировании.

Ключевые слова

быстрое прототипирование и производство, качество продукции, технологическая подготовка производства.

Одной из ключевых проблем, стоящих перед современной аэрокосмической промышленностью – это создание сложных, конкурентоспособных объектов в заданные сроки при минимальных расходах и с требуемым качеством. Современный конструктор не мыслит себе создание новой продукции без применения современных CALS(ИПИ) – технологий, неотъемлемой частью которой является цепочка CAD/CAE/CAM (проектирование, инженерные расчеты и отработка на технологичность, подготовка производства).

Качество продукции - это совокупная характеристика основных свойств, определяющих способность удовлетворять соответствующие потребности наиболее приемлемым и экономичным способом.

К сожалению, в настоящее время большинство изделий (машин и оборудования), выпускаемых отечественным машиностроением, по важнейшим показателям уступают зарубежной технике и не соответствуют достижениям науки. Мировому уровню качества

соответствуют лишь около 20% объема выпускаемой в стране важнейшей продукции машиностроения.

Копирование зарубежной техники снизило долю исследовательских работ, направленных на повышение технического уровня создаваемой техники с одновременным снижением ее производственной себестоимости. В результате такого подхода их сложность и себестоимость увеличиваются в десятки раз, а полезная отдача - в 2-3 раза. Это противоречит смыслу и цели улучшения качества продукции как источника повышения эффективности общественного производства.

Вообще говоря, повышение технического уровня и качества изделий машиностроения является важнейшей народно-хозяйственной задачей. Известно, например, что экономии 1 % расходуемого в машиностроении черного металла за счет совершенствования техники достаточно для изготовления почти 300 тыс. грузовых автомобилей или 200 тыс. тракторов. Уменьшение материалоемкости изделий способствует снижению трудозатрат при производстве и эксплуатации машин и оборудования. Это позволяет более рационально использовать трудовые ресурсы.

Особенно решение вопросов о снижении материалоемкости продукции и обеспечения ее качества важно для наукоемких объектов аэрокосмической промышленности. На рис.1 показана приблизительная стоимость 1 кг конструкции для различных отраслей промышленности.

Применение компьютерных технологий для проектирования наукоемкой продукции и поддержки ее в течение всего жизненного цикла позволяет уже на ранних этапах решить многие вопросы по обеспечению качества продукции при ее производстве.

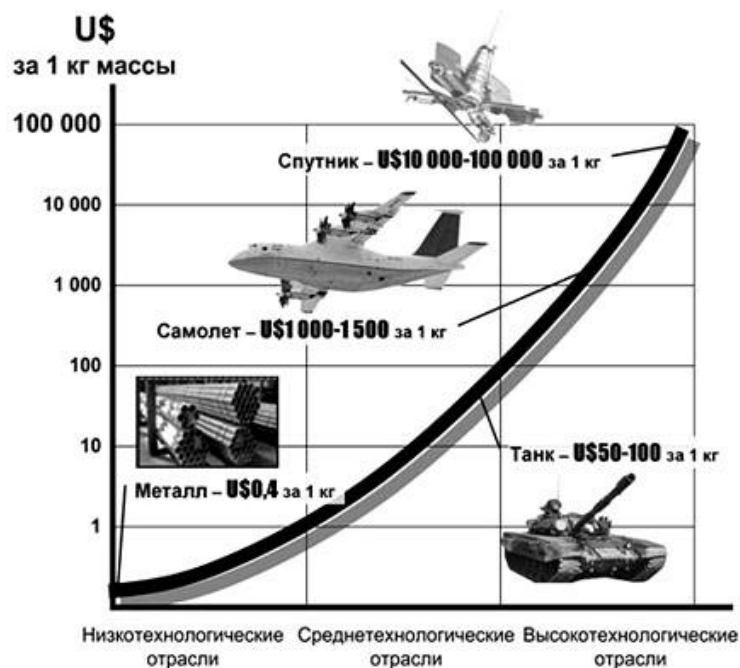


Рис. 1.

В последние годы резко возросли требования к качеству изготовления авиационной техники заданных параметров. Если 10 лет назад допускаемые от проекта отклонения по основным показателям составляли 15—20 %, а пять лет назад 10—15 %, то в настоящее время эти отклонения не должны превышать 3—5 %.

Быстрое прототипирование – незаменимый инструмент обработки новых изделий, позволяющий проверить конструкцию до запуска в производство, выявить ошибки проектирования, внести необходимые коррективы не в деталь, а в ее компьютерную модель, а затем уже оперативно изготовить оснастку. Необходимо отметить, сто цена исправления ошибки, обнаруженной на этапе серийного производства, в 100 раз выше, чем при изготовлении прототипа.

Поэтому так актуальны вопросы быстрого прототипирования на этапах проектирования деталей конструкции. Важным элементом проектирования деталей является возможность проверки качества этой детали, ее технологичность, апробация ее изготовления на различном оборудовании. Для этих целей, в последнее время, стало активно внедряться за рубежом, а постепенно и в нашей стране процессы быстрого прототипирования и производства (Rapid Prototyping and Manufacturing, RPM). Технологические процессы послойного синтеза различных материалов, позволяют создать прототип или модель изделия сложной формы в соответствии с твердотельной моделью детали, созданной на компьютере при проектировании.

Методы быстрого прототипирования позволяют провести проверку проектируемых деталей на этапах их создания, когда по электронной модели детали проводится изготовление их физической модели. Эта модель может служить составной частью реальной сборки наряду с изготовленными деталями для контроля собираемости конструкции. Кроме того она может быть мастер - моделью для создания литьевых форм, для программирования станков с ЧПУ (сравнение с готовой деталью).

Технологии послойного синтеза являются мощным средством сокращения времени технологической подготовки производства (ТПП), собственно изготовления и повышения качества создаваемых изделий при переходе к производству новых изделий в авиастроении, машиностроении и других наукоемких отраслях.

К основным видам технологий послойного синтеза, применяемым сейчас в промышленности можно отнести следующие:

- стереолитография (SLA - Stereo Lithography Apparatus);
- технология SLS (Selective Laser Sintering - лазерное спекание порошковых материалов);
- EBM (Elektron Beam Melting – электронно-лучевое плавление);
- технология FDM (Fused Deposition Modeling - послойное наложение расплавленной полимерной нити);
- технология струйного моделирования (Ink Jet Modelling);
- технология склеивания порошков BPA (Binding Powder by Adhesives);
- технология LOM (Laminated Object Manufacturing - ламинирование листовых материалов);
- технология SGC (Solid Ground Curing) - облучение УФ-лампой через фотомаску.

Прототипирование, в том или ином виде, является обязательным этапом в процессе разработки любого нового изделия. Создание качественного прототипа, максимально похожего на будущее изделие - весьма непростая задача. Приходится решать проблему точного повторения геометрической формы, собираемости, внешнего вида и поиска материалов, максимально похожих на заданные. Использование RPM-технологий в прототипировании способно на 50 - 80% сократить сроки подготовки производства, практически полностью исключить длительный и трудоемкий этап изготовления опытных образцов вручную, или на станках с ЧПУ.

Получение моделей деталей методами RPM-технологий минимизируют риск ошибочных конструкторских и технологических решений. В настоящее время на рынке существуют различные RPM-системы, производящие модели по различным технологиям и из различных материалов. Однако, все современные системы быстрого прототипирования

работают по схожему послойному принципу построения физической модели, который в упрощенном виде заключается в следующем:

- средствами CAD (SolidWorks, Catia, Creo, NX) создается графическая 3D-модель детали;
- готовая модель записывается в STL-файл (все современные CAD-системы твердотельного моделирования могут экспортировать файлы в таком формате);
- STL-файл передается в установку быстрого прототипирования;
- трехмерная модель разбивается на горизонтальные сечения (слои) с помощью специальной программы, поставляемой с оборудованием;
- производится последовательное построение сечений детали слой за слоем снизу вверх, до тех пор, пока не будет получен физический прототип модели. Каждый последующий слой приваривается или приклеивается к предыдущему, и так до полного построения модели.

Построение прототипа обычно происходит на основе твердотельной модели из CAD-систем или модели с замкнутыми поверхностными контурами. Эта модель разбивается на тонкие слои в поперечном сечении с помощью специальной программы, причем толщина каждого слоя равна разрешающей способности оборудования по z-координате. Обычно при разбиении дается припуск на механическую обработку. Построение детали происходит послойно до тех пор, пока не будет получен физический прототип.

Сами технологии создания прототипов бывают различными. Что касается литейного производства, то в западной промышленности широкое распространение получили технологии быстрого прототипирования на основе лазерной стереолитографии (фотополимеризации), лазерного спекания и др. Применение этих технологий позволяет непосредственно получать модели (макеты, копии) требуемой детали, минуя стадию традиционного изготовления деревянной оснастки. Модели выращиваются из синтетических материалов и затем используются для получения литейных форм (так называемые уничтожаемые или теряемые модели например, для литья по выплавляемым или выжигаемым моделям), либо в качестве литейной оснастки для формовки например, песчаных форм. С помощью лазерной технологии могут быть получены также и песчаные стержни любой сложности (машины фирм 3D Systems, EOS, Generis). Выращивание моделей открывает неограниченные возможности в технологии литья металлов, позволяет реализовать конструкции, ранее недоступные вследствие технологических ограничений.

Принципиальная схема всех установок прототипирования одинакова: на рабочий стол, элеватор установки, наносится тонкий слой материала, воспроизводящего первое сечение изделия, затем элеватор смещается вниз на один шаг и наносится следующий слой.

Так слой за слоем воспроизводится полный набор сечений модели повторяя форму требуемого изделия. При этом на некотором слое может оказаться, что отдельные элементы "повисают" в воздухе, поскольку они должны крепиться к верхним слоям. Чтобы избежать такой проблемы, 3D модель предварительно подготавливается, в ней строится система поддержек на каждый такой элемент.

Основным различием между технологиями прототипирования является прототипирующий материал, а также способ его нанесения.

№	RPM - модель	Технологии	Материалы
1	Конструкторские прототипы для проверки геометрии деталей и собираемости узлов	SLA, LLS, SLS, EBM, LOM, FDM, VJM, CNC Machining	ФПКМ, металлы, наполненные полиамиды, бумага, АБС-пластик, термопластики, модельные материалы
2	Конструкторские прототипы для механических испытаний	SLA, LLS, SLS, EBM	ФПКМ с повышенными механическими свойствами, металлы, наполненные полиамиды
3	Дизайн-макеты	SLA, LLS, SLS, EBM, FDM, MJM	ФПКМ, металлы, полиамиды, АБС-пластик, термопластики
4	Мастер – модели для литья пластмасс в силиконовые формы и литья металлов в «землю»	SLA, LLS, SLS, EBM, FDM	ФПКМ, металлы, полиамиды, АБС-пластик
5	Песчаные литейные формы и стержни	SLS	Песок с наполнителями
6	Выплавляемые литейные модели	FDM, MJM	Модельные массы
7	Выжигаемые литейные модели	SLA (Quik Cast), LLS, SLS, FDM	ФПКМ, полистирол, АБС-пластик
8	Опытные образцы деталей и формообразующие элементы стационарной оснастки	SLS, EBM	Металлы

В мире существует несколько компаний, изготавливающих RPM-установки, они постоянно совершенствуют технологию и разрабатывают новые материалы.

В последнее время в России появились ряд организаций – участников проектов в области быстрого прототипирования, в основном в области автомобильной и медицинской промышленности: ОАО «НИИТавтопром», ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». Большой комплекс работ в этом направлении проводится в Институте проблем лазерных и информационных технологий РАН (г. Шатура) и в Самарском филиале Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

Если говорить об авиации, то большой объем работ в направлении прототипирования и технологии послойного синтеза в современном компьютерном производстве проводится в Научно-исследовательском институте авиационных технологий (НИАТ).

Наиболее перспективными на данный момент в самолетостроении и двигателестроении представляются такие методы послойного синтеза, как стереолитография и лазерное спекание порошковых материалов.

Стереолитография является самым первым и наиболее распространенным методом прототипирования, во многом благодаря достаточно низкой стоимости прототипа. Она охватывает практически все отрасли материального производства от медицины до тяжелого машиностроения. SLA-технология позволяет очень быстро и очень точно построить модель изделия. Качество поверхностей весьма высокое и при необходимости может быть дополнительно улучшено, поскольку “зафиксированный” фотополимер хорошо обрабатывается, и поверхность может быть доведена до зеркальной.

Основой в данном процессе является ультрафиолетовый лазер, который последовательно переводит поперечные сечения модели на поверхность емкости со светочувствительной смолой. Жидкий пластик затвердевает только в том месте, где прошел лазерный луч. Затем новый жидкий слой наносится на затвердевший слой, и новый контур “обрабатывается” лазером. Процесс повторяется до завершения построения модели, т.е. пластиковой копии детали.

Используется достаточно твердый, но хрупкий полупрозрачный материал, подверженный короблению под влиянием атмосферной влаги. Материал легко обрабатывается, склеивается и окрашивается. Качество поверхностей без доводки хорошее.

При **лазерном спекании** модели или готовые детали создаются из порошковых материалов за счет эффекта спекания при помощи энергии лазерного луча. В данном случае, в отличие от SLA-процесса, лазерный луч является не источником света, а источником тепла. Попадая на тонкий слой порошка, лазерный луч спекает его частицы и формирует

твердую массу, в соответствии с геометрией детали. В качестве материалов используются полиамид, полистирол, песок и некоторые металлы.

Методы быстрого прототипирования, кроме создания физической модели про электронной модели, могут потребовать новых подходов к процессу проектирования деталей.

Примером применения современных технологий создания прототипов и самих деталей методами спекания металлических порошков является изготовление в подразделении EADS Innovation Works, расположенного в Великобритании, на установке Arcam A2 петли для кожуха реактивных двигателей самолета A380.

В результате применения метода EBM для создания детали из металлического порошка (на переднем плане) удалось вдвое уменьшить вес по сравнению с деталью, изготовленной традиционными методами (на заднем плане) (Рис.2).



Рис. 2

Используемое при проектировании программное обеспечение CAE позволило определить, где части должны нести нагрузки и места, где материал может быть удален, позволяя снизить вес вдвое без потери прочности. Это экономит электроэнергию, металл, и деньги. Сложные изогнутые формы, получаемые в результате, достаточно сложно было бы отлить или вырезать из заготовки, даже на самом передовом оборудовании с ЧПУ.

Для создания прототипов существует большое количество методов и типов оборудования. В зависимости от поставленных задач и выбираются эти методы. Они могут работать одновременно или последовательно на выполнение основной задачи. Так, создавая облик детали из смолы, мы имеем возможность проверить ее изготовление из металла и в случае положительного ответа запустить ее в производство.

В тоже время широкое применение современных методов прототипирования в авиации сдерживается по многим причинам: высокая стоимость оборудования; отсутствие собственных разработанных установок и материалов для создания прототипов (в первую очередь металлических порошков требуемого качества), отсутствие обученного персонала для проведения работ, отсутствие рекомендаций по методам проектирования деталей, предназначенных для прототипирования и т.п.

В определенном смысле для решения этих вопросов могла бы помочь Высшая школа. Так в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) имеется ряд установок, предназначенных для создания прототипов и деталей методами RPM – технологий (Рис. 3).

В Ресурсных центрах института, созданных для подготовки кадров авиационной, ракетной и космической отраслей и других высокотехнологичных оборонных секторов экономики Российской Федерации на основе интеграции науки, образования и производства для поддержания паритетности и создания технологического превосходства в данных отраслях на мировом уровне размещено следующее оборудование предназначенное для быстрого прототипирования.



Установка Viper Si2™ SLA®



Установка EOSINT M270



3D принтер Alaris 30

Рис. 3

Наличие оборудования в институте позволяет как совместно, так и индивидуально охватить большую часть из всего комплекса быстрого прототипирования путем создания виртуального учебно-научно-производственного центра прототипирования сложных технических изделий и технологических процессов. Это позволит осуществлять подготовку специалистов, владеющих современными технологиями сквозного виртуального проектирования изделий авиационной техники в соответствии с конкретными задачами.

Опыт применения установок для изготовления опытных образцов показал эффективность методов быстрого прототипирования в области изготовления деталей изделий аэрокосмической отрасли (Рис.4).







Рис. 4

Применение методов RPM показывают их широкие возможности. Методами быстрого прототипирования и производства можно создавать:

- панели для систем управления пограничным слоем;
- колеса турбин и компрессоров миниатюрных ГТД;
- зубчатые колеса и шкивы с подачей СОЖ непосредственно в пятно контакта;
- сверхлегкие миниатюрные детали механической проводки миниатюрных устройств (винты изменяемого шага, система управления ДПЛА);
- высокопрочные сверхлегкие болты большого диаметра;
- экспериментальный режущий инструмент;
- приемники воздушного давления сложной формы и сложной системой внутренних каналов;
- кронштейны для навески оборудования с полостями; предназначенными для установки измерительных датчиков;
- фильтры для бесконтактного смешивания реактивов;
- детали воздухозаборников для гиперзвуковых самолетов (в частности, диффузор заборного устройства)

и многое другое.

В тоже время необходимо проведение следующих работ:

- Отработка методики проектирования деталей авиационных конструкций, предназначенных для последующего применения SLS – технологий.

- Разработка методов обработки деталей предназначенных для изготовления по SLS – технологий на технологичность в процессе конструктивно-технологической подготовки детали к изготовлению.
- Выбор основных рациональных параметров технологического процесса выращивания деталей.
- Анализ и применение современных отечественных металлических порошков.

Кроме того на базе Института повышения квалификации МАИ разработана программа и проводится обучение и повышение квалификации инженерных работников промышленности по вопросам проектирования, изготовления и контроля качества деталей с применением современных методов быстрого прототипирования.

Московский авиационный институт являясь Национальным исследовательским университетом, обладая разнообразным современным и уникальным оборудованием, имея опыт работы с представителями промышленности, обладая высококвалифицированными кадрами имеет все возможности для того, чтобы технологии XXI века – технологии быстрого прототипирования и производства нашли свое достойное место в таких наукоемких отраслях, как авиация и космонавтика.

Литература.

1. В. Кузнецов Системы быстрого изготовления деталей и их расширения // CAD/CAM/CAE Observer №4, 2003.
2. Сироткин О.С., Тарасов Ю.М., Рыцев С.Б., Гирш Р.И. Прототипирование и технология послойного синтеза в современном компьютеризированном производстве// Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение./Гл. ред. А.Г. Братухин. М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008.
3. Смирнов О.И. Имитационное моделирование технологий послойного синтеза в машиностроении// Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 37
4. Маслов Ю.В., Мищенко В.Ю. Быстрое прототипирование и его применение в аэрокосмической отрасли// Атмосферные энергетические установки №1, 2011.

Сведения об авторах

Бойцов Борис Васильевич, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой Московского авиационного института (Национального исследовательского

университета), 119021, г. Москва, ул. Льва Толстого д.7, кв.34; тел 8(495)959-83-28, e-mail: kaf104@mai.ru

Куприков Михаил Юрьевич, профессор, доктор технических наук, проректор Московского авиационного института (Национального исследовательского университета),; тел.649-92-04, e-mail: mai@mai.ru

Маслов Юрий Васильевич, , доцент Московского авиационного института (Национального исследовательского университета), к.т. н. тел. 8-915-133-21-79, e-mail: mas104mai@mail.ru