

РКТ.

Новые технологии обработки материалов, основанные на воздействии внешней фазы на всю обрабатываемую поверхность (обработка высококонцентрированными потоками энергии, размерная электрохимическая обработка, различного рода покрытия и т.п.), создают на поверхности деталей кластерные структуры, существование которых диктует потребность применения новых подходов к их описанию и оценке, что, в частности, достигается применением интеллектуального компьютерного ретрофитинга на базе математического аппарата фрактальной геометрии.

Литература

1. Петров В.И. Сканирующая зондовая микроскопия / Петров В.И., Лукьянов А.Е., - М.: Физ.дан. МГУ, ч.1, 2001 108 с.
2. Рыков С.А. Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур. Учебное пособие для студентов ВУЗов.- СПб.: Наука, 2001. 52 с.
3. Вячеславова О.Ф., Иванов С.А. Объективные предпосылки создания новых подходов в оценке шероховатости поверхности, обработанной электрофизическими методами обработки: материалы 8-й Всероссийской научно-техн. конф. «Состояние и проблемы измерений». М.: 2002, ч.2. с. 65-66.
4. Вячеславова О.Ф., Назаров Ю.Ф., Иванов С.А. Фрактальная модель формирования поверхности физическими методами//Обозрение прикладной и промышленной математики. 2002, т.9, вып.3, с.698 -599.
5. Информационные технологии в разработке сложных систем: Труды ГОСНИИАС/ГОСНИИ авиац. Систем: -М.: вып. 1(3), 1994, 92 с.
6. Информационные технологии, системы и приборы: Сб. научных трудов/Ульяновский Госуд. Техн. университет. Ульяновск, 1998. 91 с.
7. Потапов А.А., Герман В.А. О методах измерения фрактальной размерности и фрактальных сигнатур многомерных стохастических сигналов /В ж. «Радиотехника и электроника», 2004, т.49, № 12, с.1468 – 1491

Создание технологических систем оперативной подготовки производства новой техники на базе современных средств быстрого прототипирования

к.т.н. Гладков В.И., Кулагин В.В., Круглов С.М.
ОАО «НИИТавтопром»

В условиях современной экономики предприятия, желающие быть конкурентоспособными, должны оперативно реагировать на постоянно изменяющиеся запросы рынка. При этом новое изделие должно быть предложено потребителям раньше, чем их производственные системы будут полностью готовы к серийному производству. Практика мировых компаний показывает, что решить эту задачу можно путем использования на стадиях разработки и подготовки производства организационно-технологических систем Компактного Интеллектуального Производства (КИПр).

Система КИПр базируется на применении средств автоматизированного проектирования (САД) совместно с компьютеризированным технологическим оборудованием быстрого прототипирования (Rapid Prototyping-RP) и оперативного изготовления опытных образцов и оснастки в составе единой "сквозной" системы. Она позволяет ускорить процесс перехода от научных и конструкторских идей к компьютерным моделям изделий и их прототипам из различных материалов с целью использования как при доработке конструкции, так и при создании технологической оснастки.

Быстрое прототипирование (RP) – незаменимый инструмент отработки 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.

Сущность любого процесса быстрого прототипирования составляет послойный синтез - "выращивание" физической копии объекта продукции без использования традиционной тех-

нологической оснастки. RP-модели создаются на основе трехмерной компьютерной (3D) модели из тонких слоев модифицируемых композиционных материалов.

При подготовке процесса быстрого прототипирования 3D-модель, созданная средствами САПР, транслируется в стандартный входной файл формата STL, в котором все поверхности модели представлены в виде набора малых треугольников. Программное обеспечение RP генерирует необходимые структуры поддержек, фиксирующих модель в процессе построения, затем делит модель (вместе с поддержками) из STL файла на горизонтальные слои и контролирует все функции RP системы согласно заданным пользователем параметрам.

Целью настоящей работы является проведение анализа зарубежного и отечественного опыта, теоретические и экспериментальные исследования по определению оптимальных методов быстрого прототипирования (RP) для изготовления моделей-прототипов литых деталей и литейной оснастки, разработка типовых технологических процессов для различных литейных технологий с применением RP-методов и технических требований для создания технологической системы Компактного Интеллектуального Производства для задач литья.

Ниже приводится краткое описание методов быстрого прототипирования с разработанными на основе аналитических, теоретических и экспериментальных исследований рекомендациями по возможностям их применения в целях ускорения и снижения стоимости подготовки производства отливок.

Stereolithography (SLA) – (лазерная стереолитография) процесс основан на использовании управляемого компьютером лазерного луча для послойного отверждения слоев жидкой фотополимеризуемой композиции (ФПКМ) на эпоксидной основе и соединения слоев в монолит SL-модель. Финишная обработка модели в первую очередь состоит в удалении поддержек и в сглаживании «ступенек» при помощи наждачной бумаги для отделки модели. Ступенчатость обычна для всех RP-прототипов, т.к. модели формируются из горизонтальных слоев (толщиной 0,025 – 0,2 мм), которые накладываются друг на друга. Габаритные размеры моделей - от 250 до 500мм по всем измерениям. Минимальная толщина стенок – 0,3 мм.

Широкая гамма современных ФПКМ позволяют использовать стереолитографические (СЛ) модели и как конструкторские прототипы, и как мастер-модели и элементы технологической оснастки, например, при формовке песчаных литейных форм и стержней. Используя специальный метод и материалы построения метод пустотелых моделей Quick Cast, можно изготовить выжигаемые модели для литья в оболочковые формы. Этим методом ФПКМ отверждается, формируя внутреннюю структуру в виде объемной сетки и тонкую внешнюю оболочку. Так минимизируется повреждение керамической формы за счет уменьшения зольного остатка и объема газа, выделяемого во время процесса выжигания модели.

Внешний вид и схематическое изображение установки лазерной стереолитографии представлено на рис. 1.

Оборудование и материалы для лазерной стереолитографии поставляются фирмой 3D Systems Inc. (США).

Selective Laser Sintering (SLS) – (селективное спекание порошков) - в технологии используется термоплавкий порошок (например полистирол или полиамид), слой которого насыпается на поверхность технологической платформы и подпрессовывается вращающимся валом (роликом). Луч CO₂ лазера, воспроизводя рисунок очередного слоя, плавит порошок на своем пути. Процесс повторяется слой за слоем до полного изготовления детали. Финишная обработка состоит в удалении нерасплавленного порошка и отделке прототипа.

SLS - процесс может быть реализован и на песке с термореактивным наполнителем или химическим связующим для производства крупногабаритных (1500 x 750 x 700 мм) песчаных литейных форм и стержней.

Производителями SLS оборудования для работы с песчаными смесями являются фирмы 3D Systems Inc. (США), Electro Optical Systems (EOS GmbH), Generis GmbH (обе – Германия).

Проведенный комплекс исследований показывает, что в качестве материала для процесса селективного спекания потенциально может использоваться любой плавкий порошок,

в том числе и металлический, если лазер обладает достаточной мощностью. Для металлических порошков, частицы которых покрыты термопластическим связующим материалом, оптимально применение косвенного спекания. Под лучом лазера связующий материал расплавляется и связывает частицы металлического порошка, образуя желаемую форму, которая называется "зеленой деталью" (green part). В этом случае достаточно, чтобы мощности лазера хватало для расплавления связующего материала. Затем зеленая деталь подвергается обработке в печи, в ходе которой связующий материал выжигается, а частицы металлического порошка связываются за счет обычных механизмов спекания. Получившаяся деталь носит название "коричневой детали" (brown part). Без дальнейшей обработки деталь будет довольно пористой из-за наличия пустот, которые ранее занимали частицы связующего материала. Чтобы снизить пористость, в печь помещается еще один материал - инфильтрат. Этот материал (обычно - медь или бронза) расплавляется и проникает в поры детали за счет капиллярного эффекта. Данный метод иногда используется для изготовления форм для литья пластмасс непосредственно по их геометрическим компьютерным моделям. Ресурса таких форм достаточно для изготовления до нескольких сотен деталей.

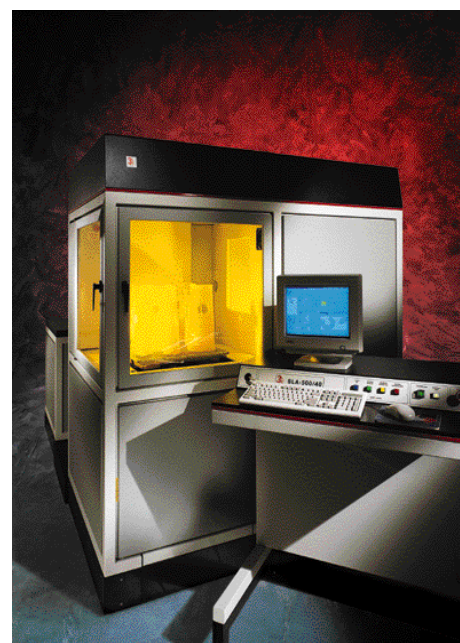
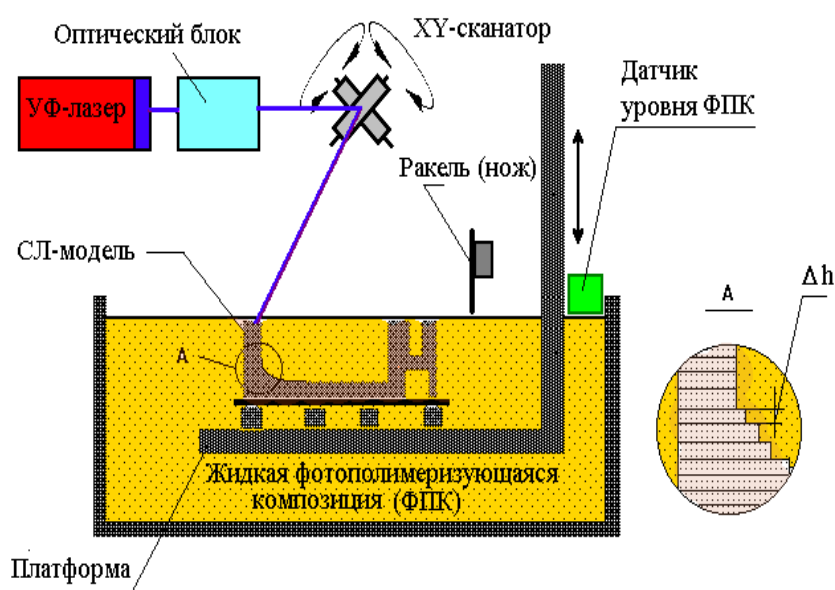


Рис. 1. Установка лазерной стереолитографии мод. SLA 500

Серьезным шагом в развитии процесса явилось создание оборудования для лазерного спекания или электронного сплавления деталей из мелкодисперсных металлических порошков без термопластического связующего, из которых можно непосредственно изготавливать детали или металлические элементы оснастки с каналами охлаждения произвольной формы.

Установки для селективного спекания металлических порошков выпускаются такими фирмами, как Concept Laser GmbH, TRUMPH GmbH (Германия), ARCAM AB (Швеция). Причем если первые две фирмы специализируются на лазерных установках, то ARCAM AB предлагает технологию и оборудование EBM® (Elektron Beam Melting - электронно-лучевое плавление), в которых для подвода энергии в рабочую зону используется электронный луч, сфокусированный магнитным полем.

Анализ процессов позволяет сделать вывод, что наиболее перспективным для изготовления формообразующих элементов оснастки окажется EBM-технология, поскольку разогрев металла в точке плавления до 2500°C будет обеспечивать получение очень высокого качества внутренней структуры материала.

В России работы в области СЛС ведутся в Самарском филиале Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, а также в Национальном институте авиационных технологий (НИАТ).

На рис. 2 показан патрубок, изготовленный на установке ARCAM из низколегированной стали (после фрезерной обработки стыковочных поверхностей).



Рис. 2. Патрубок, изготовленный на установке ARCAM

Laminated Object Manufacturing (LOM) – (раскрой и сборка листовых материалов). По этой технологии изготавливают прототипы из композиционного материала на основе бумаги, которая заранее покрыта клеем, активируемым от температуры. При построении бумага автоматически прессуется, приклеиваясь к предшествующему слою, затем вырезается по контуру поперечного сечения лучом CO₂ лазера.

Как субтрактивный процесс, LOM больше всего подходит для деталей с толстыми стенками (более 3 мм). Деревяноподобная природа LOM прототипов делает их хорошим средством для производства шаблонов и стержней для литья в песчано-глинистые формы.

LOM - оборудование выпускается фирмой Cubic Technologies (США) / Herzog (Германия). Собственная конструкция LOM – машины создана и эксплуатируется в НИАТе.

Multi - Jet Modelling (MJM) - (многоструйная экструзия) - технология трехмерной струйной печати. Это наиболее производительный из RP-процессов. Модели строятся послойно из специального термопластичного материала. Основой процесса является “печатающая” головка с множеством фильер, ориентированных в линейный массив. Каждая отдельная фильера активизируется электрическим сигналом, по требованию мгновенно выдавая струю материала. Многоструйная головка движется вперед-назад (X-ось), формируя физическую деталь слой за слоем из материала, который отвердевает за секунды. Одновременно с деталью формируется поддерживающая структура. Когда слой выстроен, деталь опускается на толщину очередного слоя. Для изготовления детали более широкой, чем печатающая головка, деталь смещается под ней по оси Y. На MJM оборудовании можно изготавливать и прототипы, и модели для литья в оболочковые формы.

MJM оборудование выпускается компанией 3D Systems Inc (США).

Технология MJM ранее использовалась только для концептуального моделирования. Первым 3D принтером был ThermoJet компании 3D Systems Inc. К сожалению, точность ThermoJet моделей была невысока, и фирма разработала новую установку InVision™ si2™, более точную и производительную.

Фирма Objet Geometries (Израиль) реализовала принцип MJM в установках безлазерной стереолитографии (LLS) EDEN, работающих с фотополимером, отверждаемым излучением галогенных ламп. Модели строятся послойно из фотополимеризуемых композиций, наносимых печатающей головкой. Отверждение ФПКМ производится засветкой всего рабочего поля галогенной лампой. Фотополимерные MJM модели можно использовать не только в качестве прототипов, но и как выжигаемые модели для литья в оболочковые формы.

Возможности быстрого прототипирования находят применение как при обработке и испытаниях новых конструкций, так и при изготовлении опытных образцов и производстве оснастки для серийного производства.

В результате проведенного в НИИТавтопроме анализа зарубежного и отечественного опыта и собственных теоретических и экспериментальных исследований определены оптимальные методы для изготовления моделей-прототипов и формообразующих элементов, в первую очередь технологической литейной оснастки, представленные в таблице 1.

Таблица 1.

№	Технологии	Материалы	Область применения RP-моделей
1	SLA	ФПКМ	КП; ИП; ДМ; МПл; МПч; ВжМ (Quick Cast)
		ФПКМ с повышенными механическими свойствами	ИП; ФЭ
2	LLS	ФПКМ	КП; ИП; ДМ; МПл; МПч; ВжМ
3	SLS	полиамиды (в т.ч. наполненные)	КП; ИП; ДМ; МПл; МПч; ФЭ
		Полистирол	ВжМ
		песок с наполнителями (связующими)	ПФ
		стали (нелегированные), сплавы (медные, алюминиевые, никелевые)	КП; ИП; ДМ; МПл; МПч
		стали (легированные), сплавы титановые	ИП; ФЭ
4	LOM	композиционные материалы на основе бумаги	КП; ДМ; МПч; ВжМ
5	FDM	АБС-пластик	КП; ДМ; МПл; ВжМ
		модельные массы	ВпМ
6	MJM	модельные массы	ВпМ
		Термопластики	КП; ДМ; МПл;

Обозначения в таблице 1:

КП - конструкторские прототипы для проверки геометрии деталей и собираемости узлов;

ИП - прототипы для механических и аэрогидродинамических испытаний;

ДМ - дизайн-макеты;

МПл - мастер модели для литья пластмасс в силиконовые формы;

МПч - мастер модели для литья металлов в песчано-глинистые формы;

ПФ - песчаные литейные формы и стержни;

ВпМ - выплавляемые литейные модели;

ВжМ - выжигаемые литейные модели;

ФЭ - опытные образцы деталей и формообразующие элементы оснастки.

ОАО «НИИТавтопром» в сотрудничестве с другими организациями разработал типовые технологические процессы изготовления моделей-прототипов, образцов литых деталей и формообразующих элементов литейной оснастки с применением различных методов и материалов быстрого прототипирования для литья в песчано-глинистые формы и точного литья по выплавляемым и выжигаемым моделям. В процессе проведения экспериментальных работ на основе единой компьютерной 3D модели детали «Ротор турбонасоса» методами быстрого прототипирования - SLA, SLS, и MJM изготовлены модели - прототипы и мастер-модели (выплавляемые и выжигаемые), которые были использованы для получения отливок литьем в керамические формы.

На рис. 3-5 показаны:

- компьютерная модель;
- стереолитографический прототип для натурных испытаний из материала с повышенными эксплуатационными характеристиками BlueStone;
- выплавляемая восковая модель и выжигаемая стереолитографическая модель;

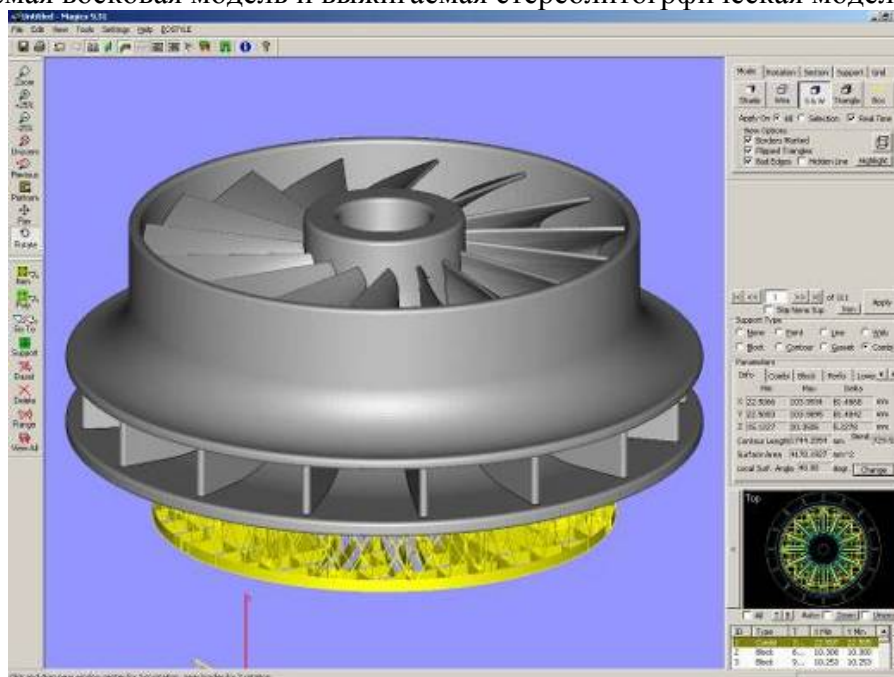


Рис. 3. Компьютерная модель ротора



Рис. 4. Прототип из материала BlueStone



Рис 5.Литейные RP- модели (слева – выплавляемая, справа - выжигаемая по методу Quick Cast)

Учитывая дефицит наличия в России RP – оборудования целесообразно создание единой технологической системы, обеспечивающей связь между потребителями и производителями, владеющими RP технологиями.

Для управления системой КИПр – Литье необходим интерактивный Web – сайт (информационно-управляющий Интернет – портал класса B2B), на который в настоящей работе разработаны основные требования, включая обеспечение:

- набора средств информационного взаимодействия для обеспечения связи между партнерами по выполнению совместных проектов;
- набора средств доступа к информационным ресурсам, необходимых для функционирования B2B-системы, а также контроля доступа к каждому из узлов системы;
- набора средств доступа к базам данных, необходимых для накопления информации об актуальных технических решениях, что обеспечит постоянное пополнение функционирующей системы.

Заключение

Результаты проведенных в ОАО «НИИТавтопром» теоретических и экспериментальных исследований в области технологий быстрого прототипирования показывают их существенные преимущества для создания систем КИПр-Литье, что позволяет:

- а) снизить расходы при организации производства новой техники;
- б) значительно ускорить сроки разработки техники по отдельным заказам;
- в) сократить время разработки, тестирования и организации производства;
- г) уменьшить производственные площади.

Выявлены литейные технологии, наиболее оптимальные с точки зрения применимости к задачам методов быстрого прототипирования (RP) и определены соответствующие RP-методы для каждой из этих технологий.

Создание Web –сайта для управления системой КИПр-литье на основе предложенных технических требований будет способствовать объединению и упорядочению информационных ресурсов, обеспечивать доступ к системной информации по использованию технологий быстрого прототипирования для ускоренного изготовления образцов и малых серий литых деталей.

Деформация деталей при изготовлении

д.т.н. Зинченко В.М, к.т.н. Гладков В.И., Круглов С.М.
МГТУ «МАМИ», ОАО «НИИТавтопром»

Проблема повышения надежности и долговечности автотракторной техники выдвигает на первый план задачу обеспечения стабильности на предельно высоком уровне всех требуемых свойств деталей, механизмов, узлов.

Основная причина значительных колебаний прочности и долговечности различных деталей при их эксплуатации связана с отклонениями в ходе процессов формирования свойств деталей при изготовлении и упрочнении, а возможности влияния на эти процессы ещё недостаточно разработаны. При этом нестабильность свойств деталей как раз и есть важная задача исследований действительного существования процессов, происходящих в деталях при их производстве.

Для устранения отрицательных явлений, касающихся эксплуатационных свойств деталей, необходимо стремиться к полноте знаний о прозрачности технологических процессов, то есть выявить все факторы, действующие во время их осуществления, даже в течение самого непродолжительного времени, и сделать их контролируемыми и управляемыми.

Усложнение условий эксплуатации (повышение нагрузок, скорости, экономичности, экологичности и др.) требует повышения точности деталей, что позволит резко увеличить долговечность механизмов, узлов и продукции в целом. Об этом свидетельствуют многочисленные примеры. Здесь приведем только два из них: снижение погрешности поверхностей подшипников с 2,5 до 1,0 мкм повышает их контактную выносливость в 3 раза; повышение точности формы шеек коленчатого вала с 10 до 6 мкм повышает долговечность вкладышей подшипников в 2,5 – 4 раза [1].

В настоящее время принято считать, что основные отклонения размеров и формы деталей от номинальных, прежде всего, обусловлены неточностью изготовления при механической обработке и деформацией деталей в процессе их окончательной термической и химико-термической обработки. Эти отклонения можно фиксировать только после появления детали, поэтому её размеры и формы контролируются после осуществления указанных этапов процесса изготовления.

На рис. 1 приведены экспериментальные результаты определения изменения размеров посадочного отверстия цилиндрических косозубых зубчатых колес, изготовленных из стали 18 ХГТ после механической и химико-термической обработки (цементация, закалка и отпуск). Видно, что на этапе химико-термической обработки проявляется большая часть общей деформации деталей и их нестабильность. Такой принятый на практике принцип определения и оценки точности различных готовых деталей только по результатам механической и