

Применение RP-технологий для изготовления литых деталей. Технологии и оборудование для получения синтез-моделей

Важнейшим звеном CAD/CAE/CAM-технологической цепочки являются RP-технологии – «безбумажные» технологии материализации виртуальных CAD-моделей, быстрое получение опытного образца, минуя стадии создания специальной оснастки для его изготовления.

Технологии быстрого прототипирования (Rapid Prototyping) – мощнейший инструмент для ускорения НИОКР и вывода новой продукции на рынок. В настоящее время RP-технологии используются практически во всех отраслях материального производства, но наибольшее распространение они получили в наукоемких и высоко технологичных областях: авиации, космонавтике, автостроении, энергетическом машиностроении, электронике, а также в приборостроении и медицине.

Суть RP-технологий заключается в синтезировании, послойном построении изделия, или иначе – в аддитивном (**additive**, т. е. путем «добавления») принципе создания изделия, в отличие от субтрактивного (**subtractive**, т. е. «вычитание») принципа - отделения «лишнего» материала от заготовки, присущего традиционным технологиям механообработки.

Особое значение RP-технологии имеют для ускоренного производства литейных деталей. RP-машины используются для получения:

- **литейных моделей,**
- **мастер-моделей,**
- **литейных форм и литейной оснастки.**

1. Изготовление литейных синтез-моделей

Литейные модели могут быть получены (выращены) из:

- воска (для последующего литья по выплавляемым моделям в оболочковых и гипсо-керамических формах);
- полистирола (для последующего литья по выжигаемым моделям)
- фотополимера, по технологии Quick-cast (для последующего литья по выжигаемым моделям)

Синтез-модели из воска получают на 3D-принтерах типа **ThermoJet** (фирма **3D Systems**), работающих по технологии **MJM - Multi Jet Modelling**, т. е. построение модели путем послойного нанесения жидкого (в частности, расплавленного) материала с помощью многоструйных головок по типу струйных принтеров.



3D-принтер ThermoJet и восковая модель корпуса турбины

В ряде случаев более целесообразным является получение отливок с использованием полистирольных моделей, которые изготавливаются на RP-машинах, работающих по

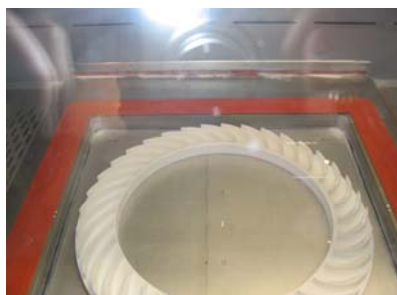
технологии **SLS – Selective Laser Sintering** – послойное спекание порошковых материалов. Эту технологию часто применяют тогда, когда необходимо быстро сделать одну или несколько отливок с умеренными требованиями по точности.



Оболочковая форма и отливка корпуса турбины



SLS-RP-машина Vanguard, полистирольные модели и отливки



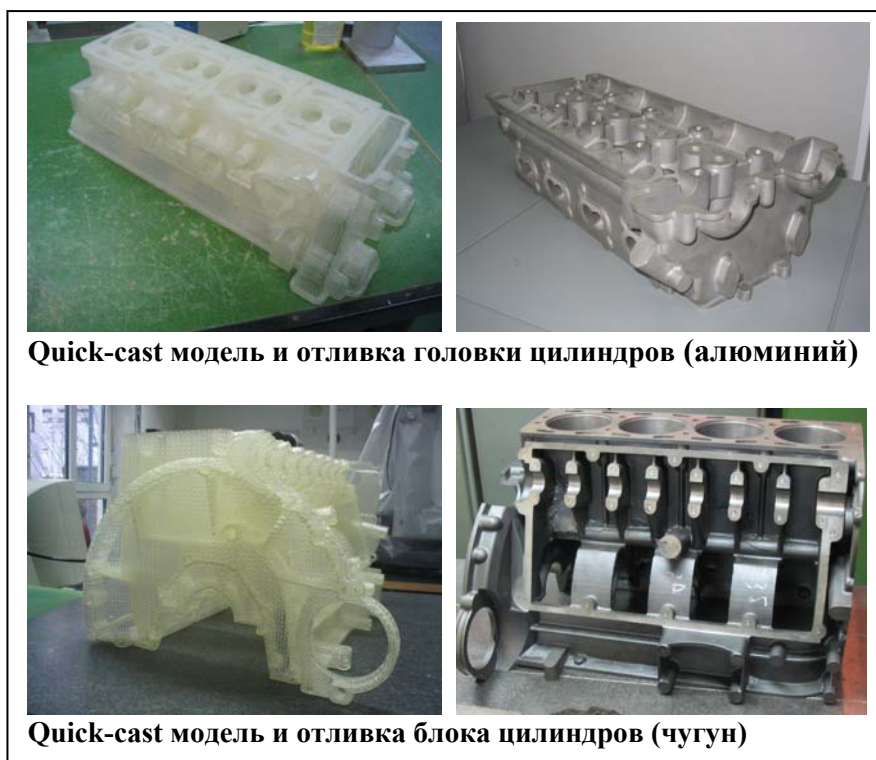
SLS-RP-машина SinterStation Pro и модель колеса турбины

Сложные и относительно габаритные отливки получают методом литья по выжигаемым **Quick-cast** моделям. Quick-cast модель строят на стереолитографических (SLA) RP-машинах типа **Viper Pro (3D Systems)**. Эти машины строят модели из фотополимерной смолы, которая послойно отверждается (полимеризуется) за счет светового воздействия лазерного луча.



SLA-RP-машина Viper Pro и SLA-модели

Quick-cast модель имеет сотовую структуру, это обеспечивает минимизацию образования золы при выжигании модели из формы и предотвращает деформацию и растрескивание формы при ее нагревании в прокаточной печи.



Quick-cast модель и отливка головки цилиндров (алюминий)

Quick-cast модель и отливка блока цилиндров (чугун)

2. Применение RP-технологий для изготовления мастер-моделей

Мастер-модели обычно выращивают на **SLA**-установках, поскольку эти машины обеспечивают наилучшую чистоту поверхности и высокую точность построения модели..

Достаточно высокое качество, чтобы быть использованными в качестве мастер-моделей, имеют модели, полученные на **RP**-машинах **Envisiontec** и **Objet**.



Силиконовая форма (вверху), мастер-модель (внизу слева), восковая модель (в середине), металлическая отливка (справа)

Мастер-модели используют для получения так называемых «быстрых форм», в частности, силиконовых форм, в которые затем производится литье полиуретановых смол или воска для последующего литья металлов. Заливку мастер-модели силиконом производят в вакуумной машине. Там же получают и отливки из полиуретана или литейного воска. Эти технологии оказались весьма эффективными для производства опытно-

промышленных партий и мало серийной продукции, характерной для авиационной, медицинской и приборостроительной отраслей. Широкий спектр как силиконов, так и полиуретановых смол позволяет изготавливать отливки с ударо- и термостойкими свойствами, различной жесткости в разнообразной цветовой гамме.

Современные предприятия, изготавливающие отливки по выплавляемым моделям, обычно имеет в составе технологического оборудования **RP**-машину для выращивания мастер-моделей и машину для вакуумного литья в силиконовые формы.

Аналогичное оборудование имеют фирмы-производители отливок из пластмасс. Машины типа **Viper Pro** могут выращивать мастер-модели больших размеров - до 1500x570x500 мм. В случае необходимости особо габаритные изделия типа автомобильного бампера могут

быть выращены по частям и затем склеены. Вакуумные машины фирмы **МСП-НЕК** позволяют создавать силиконовые формы размерами до 2,5 м.

Поскольку первичным звеном в **RP**-технологиях является цифровая **CAD**-модель изделия, то естественным и весьма эффективным средством контроля за точностью изготовления мастер-моделей, восковок и отливок всех видов является цифровая измерительная техника в виде тактильных, лазерных или фоторгаметрических устройств, использование которых позволяет очень быстро получить цифровой «образ» изделия на всех стадиях изготовления, сопоставить его с исходной **CAD**-моделью и при необходимости оперативно исправить ошибки или внести коррективы в технологию изготовления.



**Вакуумная машина
фирмы МСП- НЕК**

В качестве контрольно-измерительных устройств для проверки и разметки отливок, а также для общих целей прототипирования и ре-инжиниринга широкое применение нашли лазерные системы высокоточного сканирования. С их помощью может быть быстро создана **3D**-модель отливки, которую можно сопоставить с исходной **CAD**-моделью и оперативно провести анализ на соответствие предельным отклонениям размеров.

Современные лазерные системы, такие как **ModelMaker** (фирма **3dscanners**, Великобритания), в комплексе с 7-ми шарнирными контрольно-измерительными устройствами типа «рука» **FARO** обеспечивают высокую степень детализации при сканировании, «видят» и оцифровывают фрагменты размерами до 0,03 мм.



Контрольное сканирование отливки впускной трубы ДВС

3. Технологии синтеза песчаных литейных форм

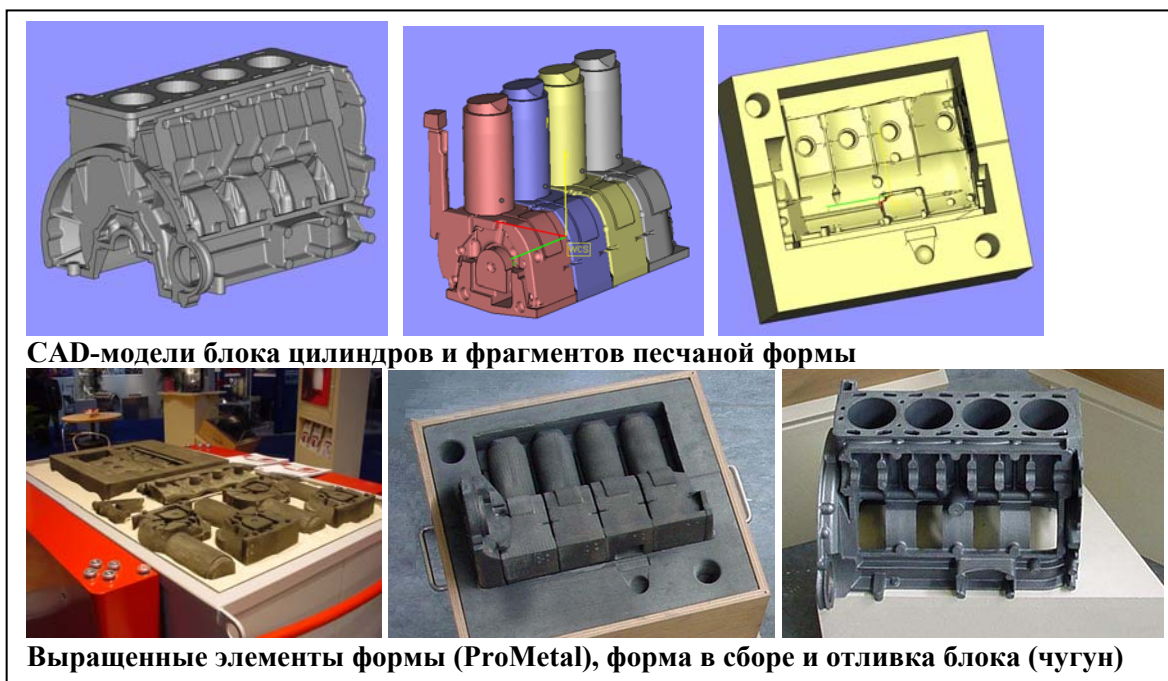
Литейные формы – это отдельный и большой раздел **RP**-технологий. В последние годы динамичное развитие получило направление непосредственного выращивания песчаных форм для литья металлов, а также выращивание металлических изделий, в частности, пресс-форм для литья пластмасс. Здесь, как нигде, в полной мере находит практическое воплощение принцип «безбумажных технологий» - производство изделия в принципе не нуждается в сопровождении посредством традиционной бумажной документации в виде чертежей, технологических карт и т. д.

Меняется и традиционный подход к кадровому обеспечению работ. Конструктор и технолог работают не последовательно, а параллельно и зачастую конструктор выполняет функцию технолога, создавая параллельно с **CAD**-моделью детали **CAD**-модели

технологической оснастки для литья детали. Конструкторские подразделения естественным образом становятся конструкторско-технологическими в составе единого конструкторско-технологического Центра Быстрого Прототипирования – ЦБП, в состав которого входит и производственное подразделение, оснащенное **RP**-оборудованием.

Для производства песчаных литейных форм в последнее время широко используется три **RP**-технологии:

- послойное нанесение связующего состава или **Inkjet**-технология (фирмы **ProMetal**, и **ZCorporation**);
- послойное спекание плакированного песка лазерным лучом (фирмы **3D Systems**, **EOS**);
- фрезерование блоков из ХТС (холодно-твердеющие формовочные смеси) на станках с ЧПУ.



Машины **ProMetal** отличаются высокой производительностью и предназначены для промышленного использования в производстве не только штучной, но серийной продукции. Самая большая из них **ProMetal S15** имеет контейнер емкостью 800 л и скорость построения моделей 12...28 мм/ч по высоте.

Машина **Sinterstation HQ (3D Systems)** и **EOSINT S750 (EOS)** могут строить модели размерами 381x330x457 мм и 720x380x380, соответственно. В качестве модельного материала используется плакированный силикатный или циркониевый песок. После построения модели подвергаются термической пост-обработке. Сложные и объемные песчаные формы строятся отдельными фрагментами, которые затем собираются и устанавливаются в опоку.

Машины **ZCorporation** используются для изготовления гипсо-керамических форм для литья цветных металлов.

Технологии литья с песчаные синтез-формы особенно широко используются в автомобилестроении для литья таких изделий как блоки и головки цилиндров, картеры коробок передач, задних мостов, а также в общем машиностроении для литья сложных изделий, требующих значительных трудозатрат на изготовление деревянной модельной оснастки. В этом случае **RP**-технологии не только существенно ускоряют процесс

изготовления изделия, но и оказываются экономически конкурентоспособными с традиционными технологиями.

Для формовки при литье в песок и землю взамен деревянных моделей все чаще используют модели,



модели, полученные либо на станках с ЧПУ из специальных модельных пластиков, либо синтез-модели, выращенные на

RP-машинах.

Физический труд модельщика повсеместно

заменяется

интеллектуальным трудом конструктора-технолога и

квалифицированного

оператора **RP**-машины и ЧПУ-станка.

Выращенная, например, из полиамида модель

закрепляется в формовочном ящике и

далее используется для получения песчаной

формы. Вместе с

моделью обычно выращивается и литниковая система. Наиболее эффективным применение выращенной литейной оснастки оказывается при создании опытных образцов, штучном и мало серийном производстве деталей, где требования к стойкости модельной оснастки не высоки.

Весьма высокую экономическую эффективность при производстве литейных деталей имеет рациональное сочетание **RP**-технологий, например, для выращивания стержней, и ЧПУ-обработки для изготовления внешних формообразующих из модельных пластиков.

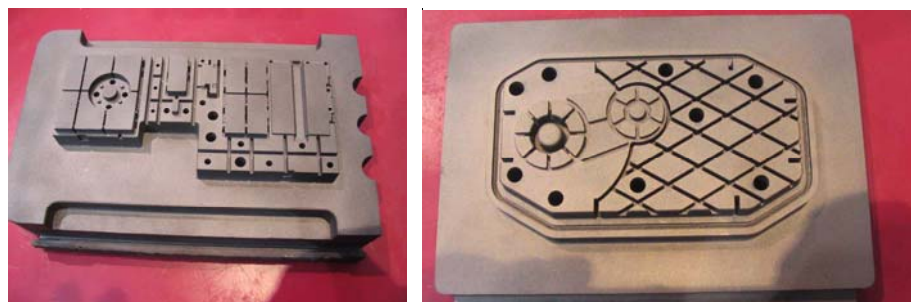


4. Технологии синтеза металлических изделий и форм для литья пластмасс

Особое место в **RP**-технологиях занимают технологии непосредственного выращивания деталей, в частности, пресс-форм из металла. В англо-язычной технической лексике эти технологии получили название Direct Manufacturing или Direct Metal Fabrication. Суть технологии заключается в последовательном «склеивании», спекании или сваривании слоев порошкового металла.

Применяют две технологии формирования модели при построении – лазерную (спекание, сплавление) и технологию **Inkjet**, согласно которой слой фиксируется с помощью

специального состава, впрыскиваемого на поверхность порошкового металла через многоструйную подвижную головку (по типу **3D-принтера**). Иногда, как например фирма **3D Systems**, сначала посредством лазерного спекания получают так называемую «грин-модель», которую затем пропитывают (инфильтруют) расплавленной бронзой. Но в последнее время с развитием лазерной техники все большее распространение получают технологии (**EOS, Arcam, MCP-HEK, ConceptLaser** и др.) непосредственного сплавления слоев порошкового металла без последующей инфильтрации.



Синтезированные металлические вставки для литья деталей из пластмассы на термопласт-автомате (3D Systems)



Машина EOS EOSINT M-270 и образцы выращенных металлических изделий

Номенклатура применяемых материалов весьма широкая: конструкционные и инструментальные стали, титан-алюминиевые композиции, кобальт-хром, инконель, драгметаллы.



RP-машина MCP-HEK SLM 250 и образцы изделий из титана

Совершенствование лазерных технологий, использование nano-технологий для получения мелкодисперсных порошковых композиций металлов позволило выращивать полностью функциональные металлические детали с механическими свойствами литых деталей, изготовленных традиционными методами. Более того, **RP-технологии** позволили

изготавливать детали с конфигурацией, которую в принципе невозможно выполнить традиционными методами, например, неразъемные пресс-формы с внутренними каналами охлаждения. Технология выращивания изделий из металла находит все более широкое применение в восстановительной медицине и имплантации.

5. Оборудование для вакуумного литья металлов

Для получения высококачественных отливок из цветных и черных металлов все более широкое применение находят литейные машины для литья в вакууме. Литье в вакууме позволяет избежать или минимизировать риск получения брака вследствие образования газовых пор и рыхлот, непроливов из-за естественного газообразования в процессе заливки металла. Кроме того, вакуумирование исключает контакт расплава металла с кислородом воздуха и его окисление как в процессе плавления, так и при заливке и кристаллизации металла. Вакуумное литье позволяет получать высокоточные отливки с хорошей чистотой поверхности. Высокую эффективность эти машины показывают при литье по синтезированным выжигаемым и выплавляемым моделям. Сроки получения высококачественных отливок сокращаются в разы, а иногда и в десятки раз по сравнению с традиционными технологиями.

Современные технологии вакуумного литья позволяют обеспечивать литье жаропрочных сталей и спецсплавов с направленной кристаллизацией. Большая часть турбинных лопаток современных авиационных двигателей изготавливается методами вакуумного литья. Ведущие мировые фирм-производителей вакуумного литейного оборудования, такие как, например, **ALD** (Германия), работают в тесном партнерстве с производителями **RP**-машин.



Для литья цветных металлов – алюминиевых сплавов, латуни, бронзы, меди, драгметаллов широко используются литейные вакуумные машины с вертикальной загрузкой и объемом тигля 3,0-30 л. В состав оборудования фирм **Schulteiss** и **MCP-HEK** (обе Германия) также входят прокалочные печи, миксеры для приготовления и заливки формовочной смеси, размывочные камеры для очистки опок и удаления формомассы после литья.



Литейные вакуумные машины MCP-HEK и Schultheiss с объемом тигля 10 л