



УДК 621.74

Поступила 04.10.2021

## АДДИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РСМ – 3D-ПЕЧАТЬ ПЕСЧАНО-ПОЛИМЕРНЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ БЕЗ МОДЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ

С. В. ЧЕМОДУРОВ, ООО «ТУССОН-ПРИНТ», г. Минск, Партизанский пр., 19А, офис 203.

E-mail: tchemodurov@tusson.by. Тел.: +375 29 110-23-55, +375 17 389-77-34

А. М. ЕМБУЛАЕВ, ООО «ТЕРЕМ», г. Москва, ул. Докукина, 16С3. E-mail: embulaev@i3d.ru.

Тел.: +7 495 108-60-69, +7 918 508-46-92

*В статье представлено описание аддитивной технологии РСМ (Patternless Casting Manufacturing – литейное производство без модельной оснастки), предназначенной для создания песчано-полимерных литейных форм и стержней без модельной оснастки с помощью 3D-печати. Данная технология имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным изготовлением песчано-полимерных форм, главные из которых – сокращение времени выпуска продукции, высокая точность изготовления геометрически сложных отливок, отсутствие необходимости хранить и ремонтировать модельную оснастку, высокая степень автоматизации оборудования и минимизация человеческого фактора. В статье подробно рассматривается технологический цикл производства деталей по технологии РСМ, а также приводятся примеры изготовленных форм и стержней.*

**Ключевые слова.** Аддитивные технологии, аддитивная установка, 3D-печать, 3D-принтер, РСМ, песчано-полимерная форма, песчаная форма, стержень, модельная оснастка, фурановая смола, связующее, активатор.

## PCM ADDITIVE TECHNOLOGY – 3D PRINTING OF SAND-POLYMERIC CAST MOLDS AND CORES WITHOUT MASTER-MODEL

S. V. TCHEMODUROV, TUSSON-PRINT Ltd., Minsk, Belarus, 19A, Partizansky ave.

E-mail: tchemodurov@tusson.by. Tel.: +375 29 110-23-55, +375 17 389-77-34

A. M. EMBULAEV, TEREM Ltd., Moscow, Russia, 16C3, Dokukina str.

E-mail: embulaev@i3d.ru. Tel.: +7 495 108-60-69, +7 918 508-46-92

*The article represents a description of PCM (Patternless Casting Manufacturing) additive technology designed to create sand-polymeric cast molds and cores without master-model using 3D printing. This technology has a number of advantages comparing to the traditional production of sand-polymeric molds. Main advantages are reduced production time, high precision of geometrically complex castings, no need to store and repair master-models, high level of equipment automation and minimization of the human factor. The article thoroughly describes the technological cycle of the production of parts using PCM technology and also provides examples of molds and cores made by PCM.*

**Keywords.** Additive technologies, additive equipment, 3D printing, 3D printer, PCM, sand-polymeric mold, sand mold, core, master-model, furan resin, binder, activator.

### Введение

Производство трехмерных песчано-полимерных форм без модельной оснастки (Patternless Casting Manufacturing, РСМ) – это одна из самых передовых технологий литья в настоящее время, которая объединяет традиционную технологию литья в песчано-полимерную форму и 3D-печать (изготовление детали путем послойного добавления материала на основу).

Эта технология позволяет оперативно создавать песчано-полимерные формы и стержни, которые эффективны для быстрого литья сложных деталей из чугуна, стали, цветных металлов. РСМ не нуждается в шаблоне и может существенно сократить как время, так и стоимость разработки и производства деталей. РСМ объединяет различные технологии и процессы, такие, как проектирование модели САД, 3D-печать, ЧПУ, быстрое литье, новые материалы, механические и электрические технологии и т. д.

Технология РСМ была разработана профессором Ян Юнъяном в Университете Цинхуа (Китай) в 1997 г. На базе данной технологии в компании Guangdong Fenghua Zhuoli Technology Co., Ltd. в 2002 г. было организовано серийное производство промышленных аддитивных установок FHZL, способных печатать литейные формы и стержни из песчано-полимерной смеси.

### Технологический цикл производства детали по технологии PCM

Технологический цикл производства детали по технологии PCM (рис. 1) состоит из следующих стадий:

1. Создание stl-файла модели детали. Делается в специальном программном обеспечении.
2. Создание модели формы (обработка самой детали). На этом этапе форма может быть разбита на несколько частей (стержни, другая оснастка).
3. Слайсинг. Это разбиение модели формы на слои, которые будут напечатаны на 3D-принтере (промышленной аддитивной установке).
4. 3D-печать формы. Подробно данный процесс описан ниже.
5. Очистка. Не участвовавший в создании формы песок сначала удаляется из бункера с помощью промышленного пылесоса, затем остатки песка аккуратно счищаются вручную. Весь этот песок используется повторно в следующих циклах печати.
6. Нанесение покрытия на поверхность формы, чтобы форма была зафиксирована правильным образом.
7. Сборка песчаной формы. На данном этапе на форму также наносится специальный слой покрытия и она нагревается в печи, где происходит ее высушивание.
8. Литье. С опокой или без, в зависимости от размеров/геометрии формы.
9. Очистка внутренних стержней на вибростенде, продувка и отделение от литников.
10. Испытание отлитой детали, контроль качества.

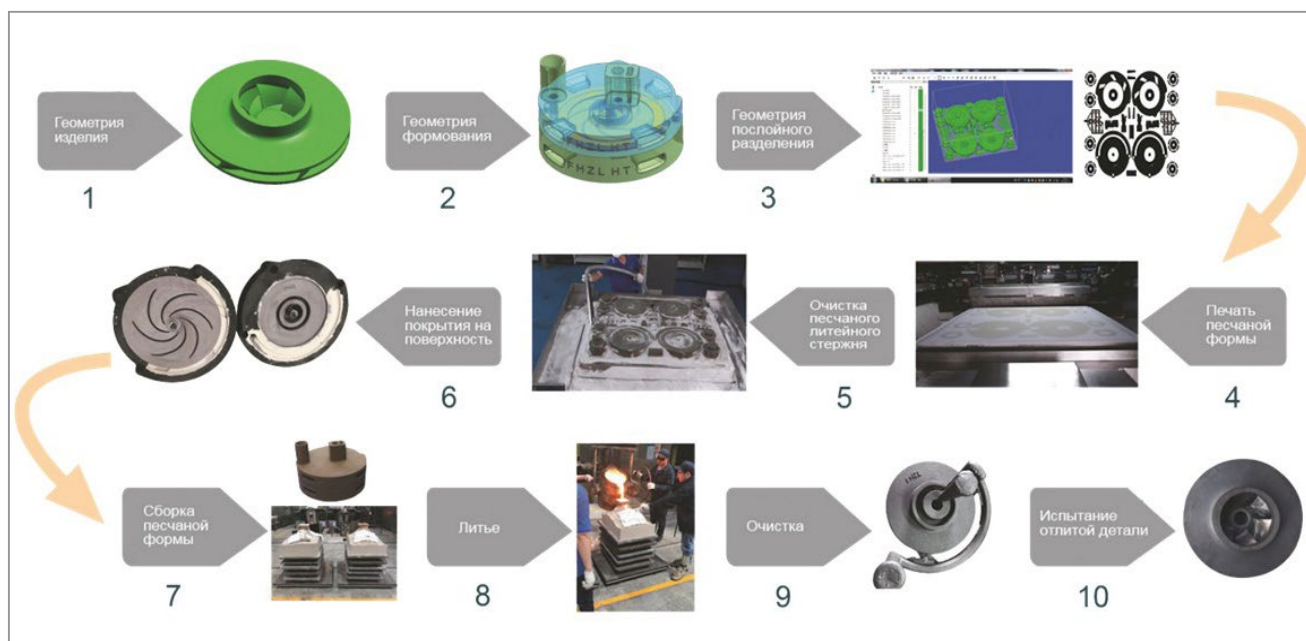


Рис. 1. Технологический цикл производства детали по технологии PCM

### Материалы для технологии PCM

Технология PCM одновременно использует три материала:

1. Песок (формовочный материал). Оборудование FHZL может работать с кварцевым, кальцинированным, синтетическим или хромитовым песком. Фракции от 0,1 до 0,24 мм. Выбор различных песков должен отвечать требованиям различной обработки литья. Технолог может выбрать кварцевый или синтетический песок для удовлетворения различных требований к отливке, что помогает эффективно контролировать затраты и гарантировать качество. Также можно использовать хромитовый песок в пропорции 1:1 с кварцевым песком.

2. Активатор/катализатор – жидкое вещество, с которым песок смешивается перед процессом 3D-печати. Расход активатора в оборудовании FHZL – 0,4% от массы песка.

3. Смола/связующее/отвердитель – жидкое вещество, фурановая или фенольная смола, наносится на смесь песка с активатором в процессе 3D-печати только в тех местах, где располагаются слои будущей формы, склеивая между собой частицы песка. Расход смолы в оборудовании FHZL – 1,8% от массы формы. Смола соответствует стандарту жидкостей для песчаных форм ХТС.

### Устройство промышленной аддитивной установки, работающей по технологии РСМ

Устройство промышленной аддитивной установки, работающей по технологии РСМ, схематично представлено на рис. 2.

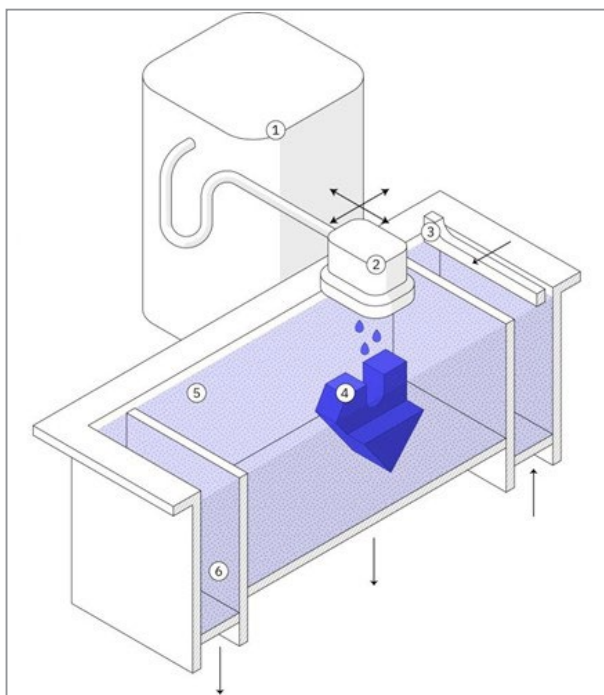


Рис. 2. Схематическое устройство главной печатной машины аддитивной установки:

- 1 – емкость со смолой; 2 – печатный модуль (содержит до четырех пьезоструйных печатающих головок);  
3 – рапельный нож; 4 – печатаемая форма; 5 – бункер построения;  
6 – контейнер для излишков песка, образующихся после выравнивания каждого нового слоя рапельным ножом

### Процесс 3D-печати песчано-полимерной формы в аддитивной установке

Активатор смешивается с песком в нужной пропорции. Активированный песок при помощи рапельного ножа 3 послойно подается на платформу бункера построения 5, где происходит нанесение на каждый слой смолы-отвердителя, подающейся через печатающие головки 2 из соответствующей емкости 1. При этом смола наносится на песок в строго определенных местах в соответствии с управляющим ПО, в котором заложена информация о будущей форме 4 в виде слоев. Химическая реакция отверждения происходит между смолой и активатором. Это повторяется слой за слоем, пока объект не будет построен. В конце процесса не отвержденный песок легко удаляется из бункера. В зависимости от требуемого качества выбирается соответствующая фракция песка. Если требуется самая мелкая детализация и низкая шероховатость поверхности, используется песок более мелкой фракции – до 0,1 мм.

### Преимущества технологии РСМ

#### по сравнению с традиционной технологией изготовления песчано-полимерных форм

1. Сокращение времени выпуска продукции в 6–10 раз.
2. Значительный экономический эффект в случае мелких серий и единичных заказов.
3. Отсутствие необходимости хранить и ремонтировать модельную оснастку.
4. Качество поверхности отливок до постобработки соответствует 7-му классу точности.
5. Уменьшение затрачиваемого времени на механическую постобработку до 37% за счет минимальных припусков.
6. Высокая точность изготовления отливок с любой сложностью геометрии.
7. Возможность печатать стержни для литейных форм с толщиной каналов всего 2.5 мм, что особенно актуально для двигателестроения.
8. Возможность регулирования смеси для получения менее твердых стержней для того, чтобы они саморазрушались во время усадки и не было проблем с выбивкой отливки от песка.

9. Форма и стержень могут быть изготовлены одновременно. Отливка может быть построена за один цикл, что уменьшает конструкторские ограничения и обработку.
10. 100%-ная повторяемость отливок от формы к форме.
11. Человеческий фактор сводится к минимуму. Можно избежать до 95 % брака.
12. Минимум задействованного персонала: для работы на установке требуется всего один человек, который будет задействован на 40–60 мин до начала цикла печати и на 1–2 ч по окончании цикла печати. Таким образом, за 8-часовую рабочую смену оператор установки может уделять другим задачам по 5–6 ч.
13. Не требуется высококвалифицированный персонал. Обучение оператора – 1 неделя.
14. Высокая эффективность оборудования при низких производственных и эксплуатационных расходах. Высокая степень автоматизации процессов.
15. Технология подходит для изготовления отливок как из различных цветных металлов (сплав Al, сплав Cu и т.д.), так и из черных металлов (HT, QT и RuT и т.д.).
16. Расход песка и смолы примерно на 30 % ниже, чем на обычных формовочных линиях.

### Примеры применения технологии PCM

Блок цилиндров двигателя (рис. 3) был изготовлен на заводе компании Guangdong Fenghua Zhuoli Technology Co., Ltd. для крупного автомобильного предприятия в Северном Китае в 2008 г. Первый образец был изготовлен за 15-дневный цикл производства, в последующем производственном цикле при использовании 3D-принтера FHZL понадобилось всего 20 дней для производства двух таких блоков. Это значительно сократило производственный цикл и снизило затраты и риски.

При традиционном изготовлении этого блока цилиндров уходило от 4 до 6 месяцев, а сумма, затраченная на изготовление, была больше в несколько раз.

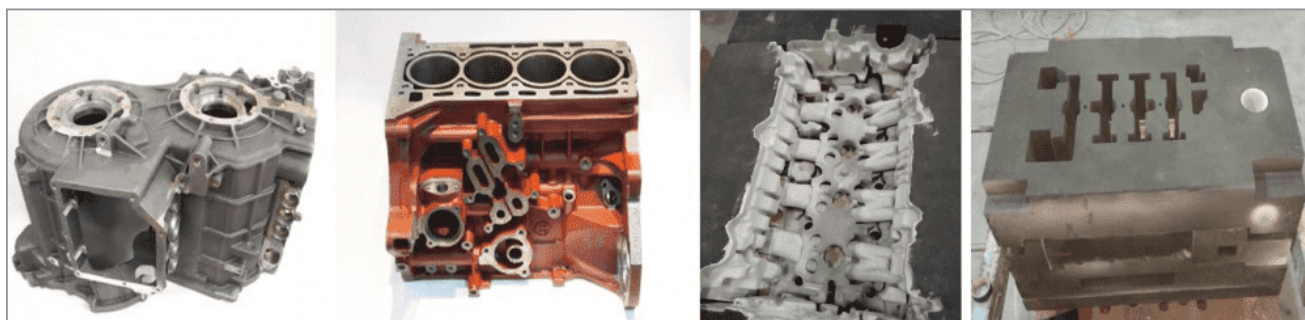


Рис. 3. Блок цилиндров двигателя, изготовленный на оборудовании FHZL по технологии PCM

Примеры напечатанных на 3D-принтере FHZL литейных стержней представлены на рис. 4, 5.

Пример напечатанной на 3D-принтере FHZL литейной формы тормозного фланца для скоростного поезда, а также готовой отливки, полученной с помощью этой формы, представлен на рис. 6.



Рис. 4. Литейный стержень клапана



Рис. 5. Литейный стержень рабочего колеса



Рис 6. Тормозной фланец для скоростного поезда. Форма (слева) и готовая отливка

Процесс изготовления крупногабаритной формы. Конечная деталь – цилиндр компрессора для прокачки газа на магистральном трубопроводе. Металлоемкость конечного изделия – 850 кг.

Ниже на рис. 7–16 представлены фотографии и изображения различных стадий процесса изготовления крупногабаритной формы по технологии PCM с помощью 3D-принтера FHZL PCM1800 с габаритами камеры построения 1800x1000x700 мм.

На основе CAD-модели отливки (рис. 7) была спроектирована CAD-модель литейной формы (рис. 8). Расчетная масса формы – 1,1 т. Габаритные размеры собранной формы: 1166x878x1020 мм + литники и выпоры.

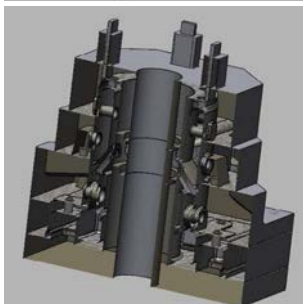
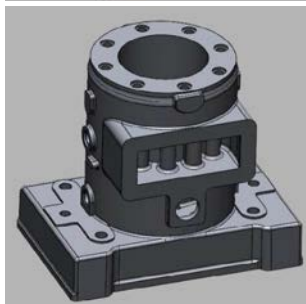
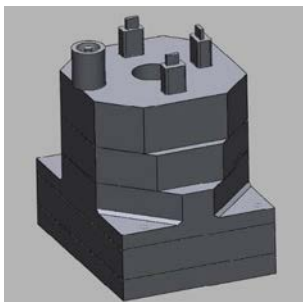
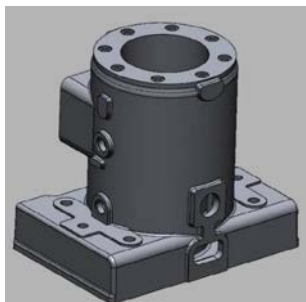


Рис. 7. CAD-модель отливки

Рис. 8. CAD-модель литейной формы



Рис. 9. Напечатанные фрагменты формы



Рис. 10. Транспортировка фрагментов



Рис. 11. Окраска



Рис. 12. Окраска стержней, начало сборки



Рис. 13. Сборка формы



Рис. 14. Проклеивание формы



Рис. 15. Деталь после отливки

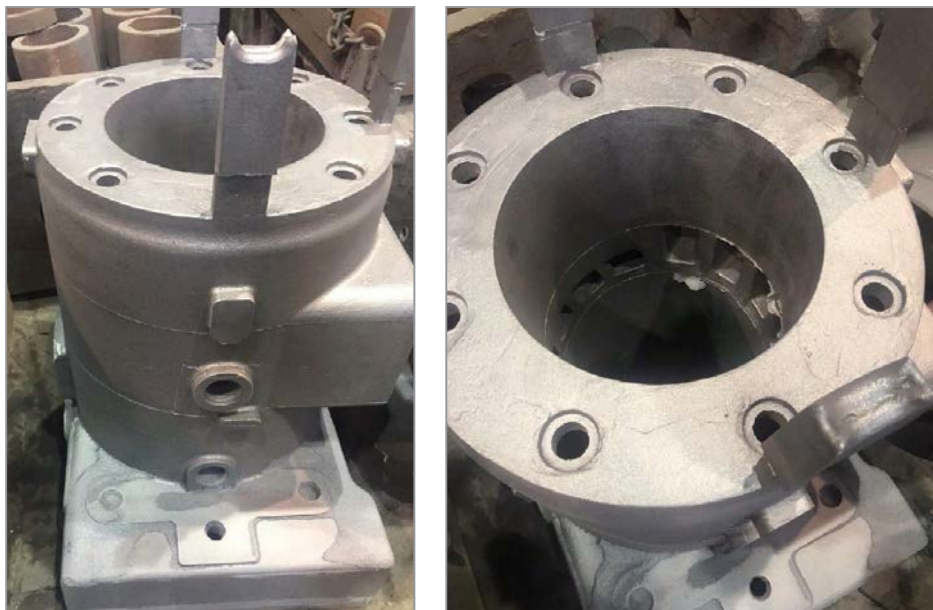


Рис. 16. Конечная деталь после выбивки

### Промышленные аддитивные установки FHZL

Guangdong Fenghua Zhuoli Technology Co., Ltd. (сокращенно FHZL) – одна из первых компаний в мире, занявшихся исследованиями технологий 3D-печати для литейного производства. При активной поддержке правительственных фондов Китая компания за 20 лет исследований получила более 140 патентов на уникальные собственные разработки, в том числе собственное ПО и свои материалы.

Имея собственное литейное производство, компания постоянно совершенствует свои аддитивные технологии и сейчас выпускает шестое поколение промышленных аддитивных установок для печати песчано-полимерных литейных форм (рис. 17), являющееся самым производительным оборудованием в мире в данной категории.

FHZL занимает 1-е место в мире по количеству установленных единиц оборудования для 3D-печати песчано-полимерных форм (более 400 установок). Технологию PCM и оборудование FHZL активно используют машиностроительные корпорации и литейные предприятия по всему миру.

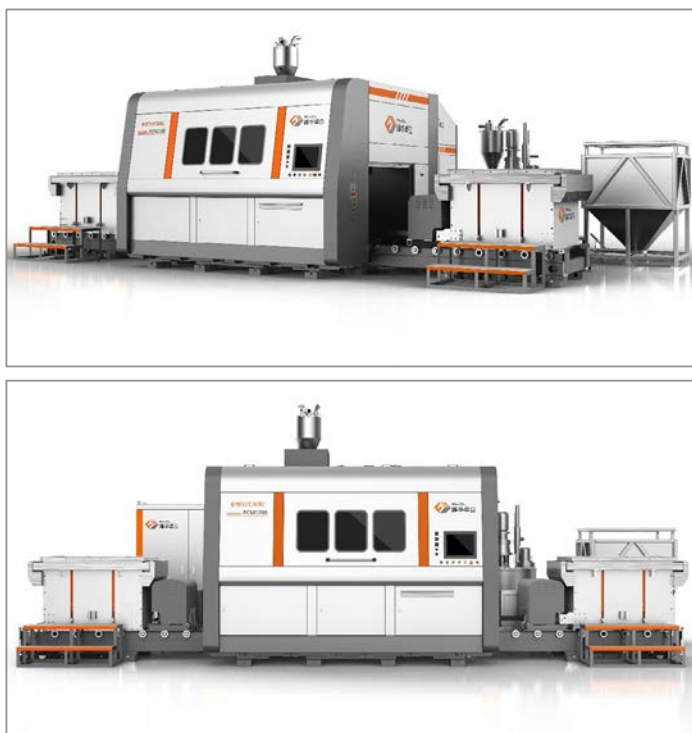


Рис. 17. Промышленная аддитивная установка FHZL PCM1200 с двумя бункерами

Получить консультацию по технологии PCM и оборудованию FHZL вы можете у официального представителя FHZL в Республике Беларусь – ООО «Туссон-Принт». Адрес: г. Минск, Партизанский пр., 19А, офис 203. Тел.: +375 29 110–23–55, +375 17 389–77–34. E-mail: tchemodurov@tusson.by.