

ПРОСТО

ПРО



СЛОЙКИ БЕЗ САХАРА:

ЧТО ТАКОЕ АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ «РОСАТОМА»

Если вы когда-нибудь готовили слоёный торт, то уже знаете, как работают аддитивные технологии. За этим сложным термином скрывается очень понятный процесс.

Аддитивный — получаемый путём сложения (от англ. *to add* — добавлять). Аддитивные технологии «Росатома» — это способ создания деталей по цифровой 3D-модели путём последовательного добавления материала, слой за слоем. В этом их принципиальное отличие от других способов производства — литья или механической обработки детали.

Термины «аддитивные технологии» и «3D-печать» часто используют как синонимы. Термин «3D-печать» появился раньше, и его чаще употребляют, когда речь идёт о недорогих домашних принтерах. В масштабах промышленного производства обычно говорят об аддитивных технологиях.

История аддитивного производства началась с изобретения первого 3D-принтера. Его сконструировал Чарльз Халл в 1983 году. Он придумал устройство, которое смогло напечатать небольшой пластиковый стаканчик новым способом — послойным наложением с помощью ультрафиолетового излучения. Халл назвал эту технологию стереолитографией. Сегодня многие 3D-принтеры работают на основе этой технологии.

Чтобы «напечатать» деталь, сначала нужно понять, что именно мы печатаем. Для этого реальный объект переводят в цифру — буквально снимают с него форму.

С помощью 3D-сканера деталь «считывают» со всех сторон. Устройство фиксирует её геометрию и превращает в цифровую

модель — точную копию, с которой уже можно работать на компьютере. Это особенно важно, когда нет чертежей или нужно воссоздать сложную форму.

Дальше начинается реверс-инжиниринг — обратное проектирование. Инженеры берут полученную модель и превращают её в полноценный цифровой объект: уточняют форму, при необходимости вносят изменения, подготавливают к производству.

По сути, это процесс «разбора» готовой детали, только не физической, а в цифровом виде — чтобы понять, как она устроена и как её можно воспроизвести.



После этого модель проходит несколько этапов:

- сначала формируется базовая 3D-геометрия;
- затем создаётся инженерная модель;
- при необходимости её дорабатывают под конкретные задачи;

- и только потом выбирают способ производства — например, аддитивную печать.

И уже на этом этапе цифровая модель превращается обратно в физический объект — слой за слоем.

Сегодня аддитивные технологии активно развиваются во всём мире, и в России одним из ключевых центров их развития стала Госкорпорация «Росатом». В Москве работает Центр аддитивных технологий — площадка, где одновременно разрабатывают и собирают 3D-принтеры, тестируют их в работе и сразу же изготавливают детали.

Работа ведётся и на предприятиях топливного дивизиона. Например, на базе НПО «Центротех» в Новоуральске развиваются технологии производства оборудования и материалов для аддитивной печати.

КАК ПЕЧАТАЮТ МЕТАЛЛ: ТЕХНОЛОГИЯ RUSMELT

Ключевая технология, которую развивает «Росатом», — это печать металла с помощью лазера. В её основе лежит принцип селективного лазерного плавления.

Процесс выглядит так: на рабочую платформу наносится тонкий слой металлического порошка. Затем лазер «прорисовывает» в этом слое контур будущей детали — в нужных местах порошок плавится и затвердевает. После этого наносится следующий слой, и всё повторяется снова.

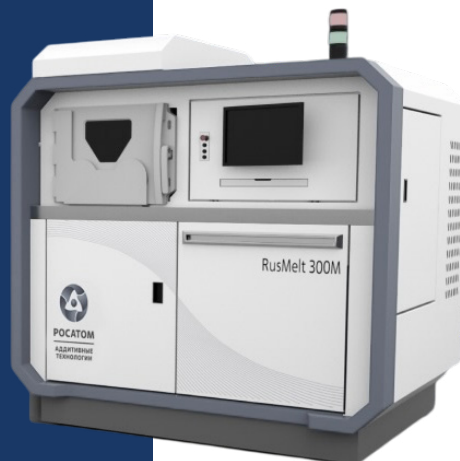
Так, слой за слоем, формируется цельное металлическое изделие.

ЛИНЕЙКА RUSMELT — ЭТО
СОБСТВЕННЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ
3D-ПРИНТЕРЫ «РОСАТОМА»,
РАБОТАЮЩИЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ
ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА

RUSMELT 300M

ПРОМЫШЛЕННЫЙ 3D-ПРИНТЕР
ДЛЯ ПЕЧАТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ
СРЕДНЕГО РАЗМЕРА СО СЛОЖНОЙ
ГЕОМЕТРИЕЙ. ОДНА ИЗ БАЗОВЫХ
МОДЕЛЕЙ ЛИНЕЙКИ.

01



02

RUSMELT 310M

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ 3D-ПРИНТЕР
ПО ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОГО
ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО
ПОРОШКА. ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ДЛЯ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ
В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ.



RUSMELT 600

КРУПНОГАБАРИТНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ
УСТАНОВКА ДЛЯ ПЕЧАТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ДЕТАЛЕЙ БОЛЬШОГО РАЗМЕРА. УВЕЛИЧЕННАЯ
РАБОЧАЯ ЗОНА И МНОГОЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА
ПОЗВОЛЯЮТ ИЗГОТОВЛИВАТЬ СЛОЖНЫЕ
ИЗДЕЛИЯ, ВОСТРЕБОВАННЫЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ
И МАШИНОСТРОЕНИИ.

03



04

DMD-ПРИНТЕР

ЭТОТ 3D-ПРИНТЕР РАБОТАЕТ ПО ТЕХНОЛОГИИ
ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ
И МОЖЕТ ИЗГОТОВЛИВАТЬ ИЗДЕЛИЯ
МАССОЙ ДО 6 ТОНН. В ЧАСТНОСТИ –
СЛОЖНЫЕ ПО ГЕОМЕТРИИ ДЕТАЛИ
РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК.

Именно по этому принципу работает линейка промышленных 3D-принтеров RusMelt. Это собственная разработка «Росатома», доведённая до серийного производства.

Первые модели позволяли изготавливать детали среднего размера из высокопрочных сплавов, например, нержавеющей стали или титана. В более новых установках увеличена рабочая зона и стабильность процесса, а также используется сразу несколько лазеров, которые работают одновременно. Это ускоряет печать и позволяет создавать более крупные и сложные изделия.

В результате такие установки делают возможным производство деталей, которые раньше приходилось собирать из нескольких частей или изготавливать с большими затратами времени и ресурсов.

Но не все задачи удобно решать с помощью послойного «запекания» порошка. Когда нужны крупные детали или требуется не создать изделие с нуля, а, например, восстановить уже существующее, используется другой подход — прямое лазерное выращивание.

Здесь материал подаётся прямо в зону действия лазера — чаще всего в виде металлического по-

рошка или проволоки. Лазер сразу расплавляет его, и металл послойно наплавляется на поверхность, формируя нужную геометрию.

Если в технологии с порошковым слоем деталь как будто «собирается» внутри рабочей камеры, то здесь она буквально «растёт» в нужном месте, например, прямо на заготовке.

Что это даёт:

- можно создавать крупные металлические элементы;
- восстанавливать изношенные детали;
- усиливать отдельные участки конструкции без полной замены изделия.

Такие решения особенно востребованы в машиностроении и энергетике, где стоимость и размеры компонентов делают традиционное производство сложным и затратным.

Аддитивные технологии уже выходят за рамки экспериментов и становятся частью реального производства. В атомной отрасли они позволяют изготавливать сложные металлические детали с высокой точностью и сокращать

сроки их создания, особенно там, где важны надёжность и геометрическая сложность изделий.

В машиностроении такие технологии помогают уменьшать количество соединений в конструкции: вместо нескольких деталей можно сразу «вырастить» одну цельную. Это делает изделия легче, прочнее и надёжнее.

Даже в медицине эти технологии находят применение: с их помощью создают индивидуальные изделия, например, имплантаты, точно соответствующие анатомии человека.

Так сегодня «Росатом» «собирает» сложные изделия по собственному рецепту, где каждая деталь заранее просчитана и точно реализована.

КЛЮЧЕВЫЕ РАЗЛИЧИЯ RUSMELT И DMD

RusMelt создаёт деталь «с нуля» внутри рабочей камеры, слой за слоем.

DMD, наоборот, позволяет наращивать металл прямо на заготовке — как будто «дорастивая» изделие до нужной формы.

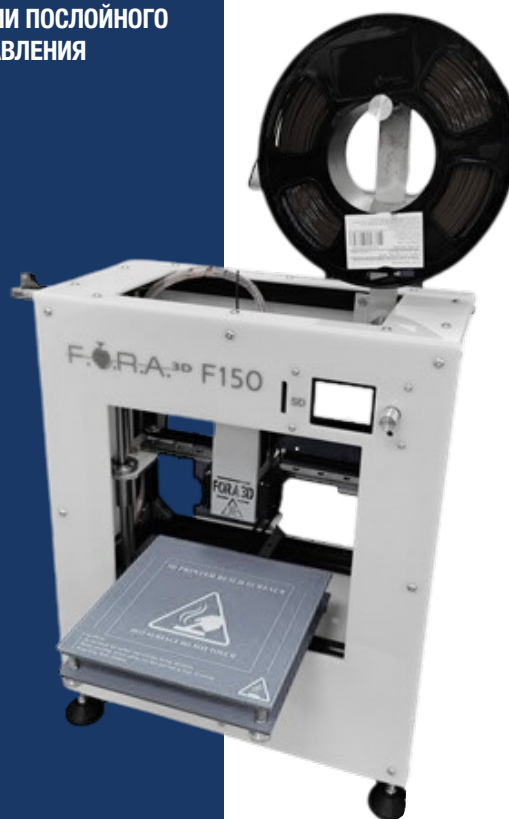
ПАРАМЕТР	RUSMELT	DMD
Принцип	Послойное плавление порошка	Наплавка материала
Где формируется деталь	Внутри рабочей камеры	Прямо на поверхности
Точность	Высокая	Ниже
Размер деталей	Ограничен камерой	Практически не ограничен
Основная задача	Создать деталь с нуля	Нарастить или восстановить
Геометрия	Очень сложная	Проще



3D-ПРИНТЕРЫ, РАБОТАЮЩИЕ
С ПЛАСТИКОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ
ПО ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО
НАПЛАВЛЕНИЯ

3D-ПРИНТЕР FORA F150
КОМПАКТНЫЙ И БЕЗОПАСНЫЙ 3D-ПРИНТЕР,
РАБОТАЮЩИЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО
НАПЛАВЛЕНИЯ ПЛАСТИКА (FDM). ИСПОЛЬЗУЕТСЯ
В ШКОЛАХ, ЛАБОРАТОРИЯХ И ДЛЯ ПЕРВЫХ
ИНЖЕНЕРНЫХ ПРОЕКТОВ.

01



02

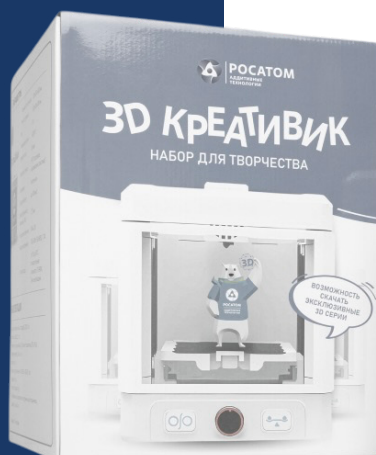
3D-ПРИНТЕР FORA F300

3D-ПРИНТЕР С УВЕЛИЧЕННОЙ ОБЛАСТЬЮ ПЕЧАТИ,
РАБОТАЮЩИЙ С ПЛАСТИКОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ.
ПОДХОДИТ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОРПУСОВ, МАКЕТОВ
И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ.

НАБОР ДЛЯ ТВОРЧЕСТВА «3D КРЕАТИВИК»

ОБУЧАЮЩИЙ НАБОР ПО 3D-ПЕЧАТИ
ДЛЯ ДЕТЕЙ. ВКЛЮЧАЕТ КОМПАКТНЫЙ
ПРИНТЕР И БЕЗОПАСНЫЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ
МАТЕРИАЛЫ, ПОЗВОЛЯЯ ПОЗНАКОМИТЬСЯ
С АДДИТИВНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ
НА ПРАКТИКЕ.

03



В истории «Росатома» была ещё одна «слойка» — научная идея, которая изменила ход развития термоядерных исследований. Её «ингредиенты» были далеки от привычных даже для аддитивной слойки: дейтерий¹ — тяжёлый изотоп водорода, или тяжёлая вода — в сочетании с природным ураном. Именно такое «слоённое» сочетание веществ предложил Андрей Дмитриевич Сахаров в 40-е годы 20 века.



Основные принципы «слойки» Сахарова впервые изложил И.Е. Тамм в докладе ПГУ 8 декабря 1948 года. Впоследствии «слойка» легла в основу первого советского термоядерного заряда РДС-6с.

Идея «слойки» была первоначально неразрывно связана с задачей детонации дейтерия в цилиндрической системе. И.Е. Тамм в своём докладе отмечал:

— исследования группы Я.Б. Зельдовича показали, что высокотемпературная плоская детонационная волна в неограниченном объёме чистого дейтерия невозможна;

— низкотемпературная детонация в неограниченном объёме дейтерия (в условиях равновесия излучения с веществом) возможна, но не представляет практического интереса из-за гигантских размеров системы (сотни метров);

— высокотемпературная детонация дейтерия в узком длинном цилиндре (предложение группы Я.Б. Зельдовича) может оказаться возможной, но этот вопрос должен решаться сложными расчётами.

В докладе отмечалось, что основным источником энерговыделения в «слойке» будет процесс деления ядер U-238 термоядерными нейтронами, а общая калорийность системы оценивалась в ~10 МэВ на 1 ядро дейтерия. Такая калорийность и условия сжатия определяли среднюю температуру среды в ~10 кэВ, так что оценка была внутренне достаточно самосогласованной. Следует отметить, что уже на этой стадии отмечалась гидродинамическая неустойчивость границы раздела между D₂O и ураном и возможность перемешивания и дробления слоёв D₂O. Подчёркивалось, что **«к сожалению, возможное влияние этого вредного эффекта на ход реакции пока ещё не может быть определено количественно».**

¹Дейтерий - это «тяжёлая» разновидность водорода. Его ядро имеет один протон и один нейтрон. Дейтерий содержится в больших количествах в водах Мирового океана.

ЯЗЫК НАУКИ

ДЕТОНАЦИЯ ДЕЙТЕРИЯ
В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛОСКАЯ
ДЕТОНАЦИОННАЯ ВОЛНА
В НЕОГРАНИЧЕННОМ ОБЪЁМЕ
ЧИСТОГО ДЕЙТЕРИЯ НЕВОЗМОЖНА

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ДЕТОНАЦИЯ
В НЕОГРАНИЧЕННОМ ОБЪЁМЕ ДЕЙТЕРИЯ
ВОЗМОЖНА, НО НЕ ПРЕДСТАВЛЯЕТ
ПРАКТИЧЕСКОГО ИНТЕРЕСА (СОТНИ МЕТРОВ)

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ДЕТОНАЦИЯ
ДЕЙТЕРИЯ В УЗКОМ ДЛИННОМ ЦИЛИНДРЕ
МОЖЕТ ОКАЗАТЬСЯ ВОЗМОЖНОЙ

ОСНОВНЫМ ИСТОЧНИКОМ
ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ БУДЕТ ДЕЛЕНИЕ
ЯДЕР U-238 ТЕРМОЯДЕРНЫМИ НЕЙТРОНАМИ

КАЛОРИЙНОСТЬ СИСТЕМЫ ~10 МЭВ
НА 1 ЯДРО ДЕЙТЕРИЯ

ТЕМПЕРАТУРА СРЕДЫ ~10 КЭВ

ОЦЕНКА БЫЛА САМОСОГЛАСОВАННОЙ

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ
ГРАНИЦЫ МЕЖДУ D₂O И УРАНОМ

ВОЗМОЖНОСТЬ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ
И ДРОБЛЕНИЯ СЛОЁВ D₂O

ВЛИЯНИЕ ЭТОГО ЭФФЕКТА НЕ МОЖЕТ
БЫТЬ ОПРЕДЕЛЕНО КОЛИЧЕСТВЕННО

ЧИТАЮ И ПЕРЕВОЖУ СО СЛОВВАРЕМ...

ПЕРЕВОД

ВАЖНА ФОРМА — ГЕОМЕТРИЯ
ПОМОГАЕТ «УДЕРЖИВАТЬ» РЕАКЦИЮ

ПРОСТО «РАЗОГНАТЬ» МОЩНУЮ
РЕАКЦИЮ В ЧИСТОМ ВЕЩЕСТВЕ
НЕ ПОЛУЧАЛОСЬ — ЭНЕРГИЯ
БЫСТРО ТЕРЯЕТСЯ

РЕАКЦИЯ ВОЗМОЖНА, НО ТОЛЬКО
В УСТАНОВКЕ ГИГАНТСКИХ РАЗМЕРОВ —
ЭТО НЕРЕАЛЬНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ

ЕСЛИ ИЗМЕНИТЬ ФОРМУ СИСТЕМЫ,
МОЖНО СДЕЛАТЬ РЕАКЦИЮ БОЛЕЕ
УСТОЙЧИВОЙ — ЭТО УЖЕ РАБОЧАЯ ИДЕЯ

ОДИН ПРОЦЕСС УСИЛИВАЕТ ДРУГОЙ:
НЕЙТРОНЫ ОТ РЕАКЦИИ ЗАСТАВЛЯЮТ
УРАН ДЕЛИТЬСЯ И ДОБАВЛЯЮТ ЭНЕРГИЮ

СИСТЕМА ДАЁТ БОЛЬШОЙ ВЫХОД
ЭНЕРГИИ — ЭТО ПОКАЗАТЕЛЬ
ЕЁ ЭФФЕКТИВНОСТИ

ЭТО ДЕСЯТКИ МИЛЛИОНОВ ГРАДУСОВ —
НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ
ДЛЯ ТЕРМОЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ

ВСЕ РАСЧЁТЫ СХОДЯТСЯ
И НЕ ПРОТИВОРЕЧАТ ДРУГ ДРУГУ

СЛОИ МОГУТ ПЕРЕМЕШИВАТЬСЯ,
КАК ЖИДКОСТИ, И ЭТО МЕШАЕТ
РАБОТЕ КОНСТРУКЦИИ

СЛОИ МОГУТ РАЗРУШАТЬСЯ
И ТЕРЯТЬ ФОРМУ

УЧЁНЫЕ ПОНИМАЮТ ПРОБЛЕМУ,
НО ПОКА НЕ МОГУТ ТОЧНО ОЦЕНИТЬ
ЕЁ ВЛИЯНИЕ

ВПОСЛЕДСТВИИ ПРОЕКТ «СЛОЙКИ» И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
О ЕЁ «КАЛОРИЙНОСТИ» ДОПОЛНЯТСЯ ТАКИМИ ПОНЯТИЯМИ,
КАК ИМПЛОЗИЯ И ТРИТИЙ — НО ПОДРОБНЕЕ ОБ ЭТОМ
В СЛЕДУЮЩЕМ ВЫПУСКЕ ДАЙДЖЕСТА «ПРОСТО ПРО АТОМ».



