



Шестой выпуск издания «Новости порошковой металлургии» посвящен вопросам производства и применению металлических порошков в аддитивных технологиях. В частности в технологии «Селективного лазерного спекания,

ЧТО ТАКОЕ АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Изготовление деталей методами Аддитивных технологий применяется за рубежом уже более 20 лет. Раньше эту технологию называли «прототипирование».

Аддитивные технологии производства позволяют изготавливать любое изделие послойно на основе компьютерной 3D-модели. Такой процесс создания объекта также называют «выращиванием» из-за постепенности изготовления. Если при традиционном производстве в начале мы имеем заготовку, от которой оптом отсекаем все лишнее, либо деформируем ее, то в случае с аддитивными технологиями из ничего (а точнее, из аморфного расходного материала) выстраивается новое изделие.

SLM или Selective laser melting — инновационная технология производства сложных изделий посредством лазерного плавления металлического порошка по математическим CAD-моделям. С помощью SLM создают как точные металлические детали для работы в составе узлов и агрегатов, так и неразборные конструкции, меняющие геометрию в процессе эксплуатации.

Технология является методом аддитивного производства и использует мощные лазеры для создания трехмерных физических объектов. Данный процесс успешно заменяет традиционные методы производства, так как физико-механические свойства изделий, построенных по технологии SLM, зачастую превосходят свойства изделий, изготовленных по традиционным технологиям.

Итак, процесс SLS предполагает следующие операции и аппаратуру:

- разработка компьютерной модели изделия,
- изготовление металлического порошка с определенным химическим составом и свойствами,
- мощный лазер, управляемый механикой по разработанной программе,
- послойное спекание лазером изделия из порошка в 3D принтере,
- финишная обработка.

ПРЕИМУЩЕСТВА АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Улучшенные свойства готовой продукции. Благодаря послойному построению, изделия обладают уникальным набором свойств. Например, детали, созданные на металлическом 3D-принтере по своему механическому поведению, плотности, остаточному напряжению и другим свойствам превосходят аналоги, полученные с помощью литья или механической обработки.

Большая экономия сырья. Аддитивные технологии используют практически то количество материала, которое нужно для производства вашего изделия. Тогда как при традиционных способах изготовления потери сырья могут составлять до 80-85%.

Возможность изготовления изделий со сложной геометрией. Оборудование для аддитивных технологий позволяет производить предметы, которые невозможно получить другим способом. Например, деталь внутри

детали. Или очень сложные системы охлаждения на основе сетчатых конструкций (этого не получить ни литьем, ни штамповкой).

Мобильность производства и ускорение обмена данными. Больше никаких чертежей, замеров и громоздких образцов. В основе аддитивных технологий лежит компьютерная модель будущего изделия, которую можно передать в считанные минуты на другой конец мира — и сразу начать производство.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

10 февраля 2015 года во Всероссийском научно-исследовательском институте авиационных материалов (ВИАМ) состоялась [научно-практическая конференция «Аддитивные технологии в российской промышленности»](#). Генеральный директор ВИАМ, академик РАН Евгений Николаевич Каблов выступил с докладом «Аддитивные технологии—важнейший элемент промышленной политики Российской Федерации». Как сообщил Евгений Каблов, «на сегодняшний день во всех развитых странах происходит бум аддитивных технологий. Мировой рынок данных технологий с 2010 по 2014 год прирастал в среднем на 27,4%, в итоге его объем достиг 3 млрд. долларов».

По его словам, мировыми лидерами в области аддитивных технологий являются Соединенные Штаты Америки, Германия и Китай. Кроме того, в 22 странах уже созданы национальные ассоциации по аддитивным технологиям, объединенные в альянс GARPA. «Например, корпорация «Боинг» благодаря 3D-печати изготавливает более 22 тысяч деталей 300 наименований для 10 марок коммерческих и военных самолетов», — подчеркнул Евгений Каблов.

Докладчик в своем выступлении осветил ряд проблем, с которыми сталкивается наша страна при освоении аддитивных технологий. По мнению Евгения Каблова, в России отсутствует производство металлических и неметаллических порошковых композиций, крайне мало квалифицированных специалистов в этой области, а также не разработаны национальные стандарты для аддитивного производства.

Эксперты сходятся во мнении, что ключевая проблема отечественной аддитивной промышленности — отсутствие собственного производства порошков. До некоторых пор острой необходимости в изготовлении порошков не возникало — покупали иностранные. Но западные санкции заставили российских потребителей задуматься. Любые ограничения поставок порошка в будущем — и все, производство остановилось. Кроме того, после падения курса рубля остро встала проблема дороговизны расходных материалов. К тому же цены на порошки для российских покупателей существенно выше, чем для европейских

Методы и оборудование для производства порошков для АТ технологий

Для производства порошков для аддитивных технологий используются следующие методы:

- распыление газом расплава (ГР),
- центробежное распыление заготовки (ЦРЗ),
- плазменное распыление проволоки (ПРП),
- центробежное распыление расплава (ЦРР).

Метод ЦРЗ позволяет пока получать крупные порошки (более 100 мкм), а ПРП имеет малую

производительность и требует предварительной заготовки проволоки. Поэтому эти методы не имеют пока промышленного применения.

Методы ГР и ЦРР уже нашли промышленное применение поэтому требуют особого рассмотрения. Рассмотрим их .

Метод ГР (атомизация) заключается в том, что струю расплава(рис.1, А) распыляют струями газа.

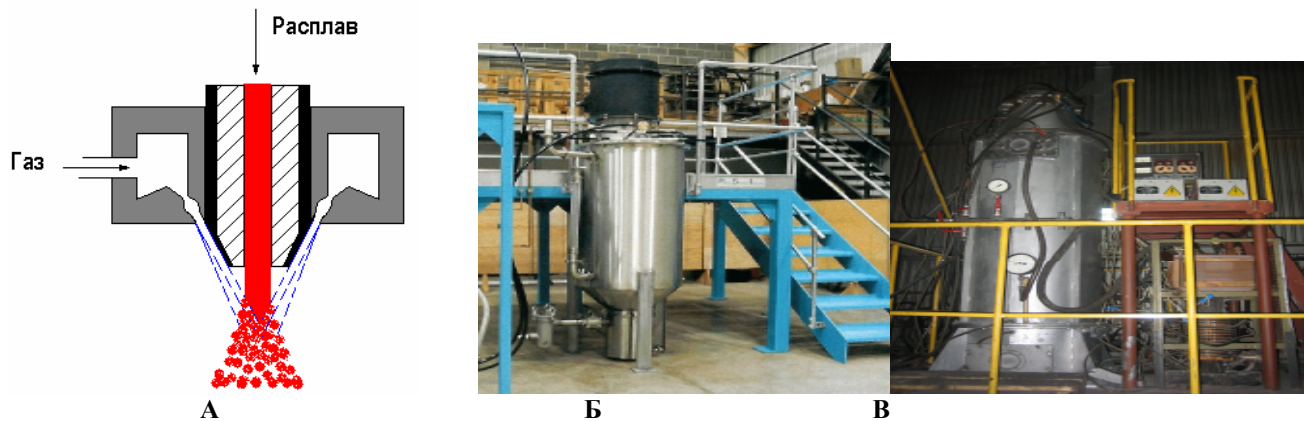


Рис.1. Распыление расплава газом: А-схема, Б- установка компании PSI, В-установка компании «РСТ» УР-5
Центробежное распыление состоит в том, что струя расплава распыляется вращающимся диском на капли(рис 2, А).

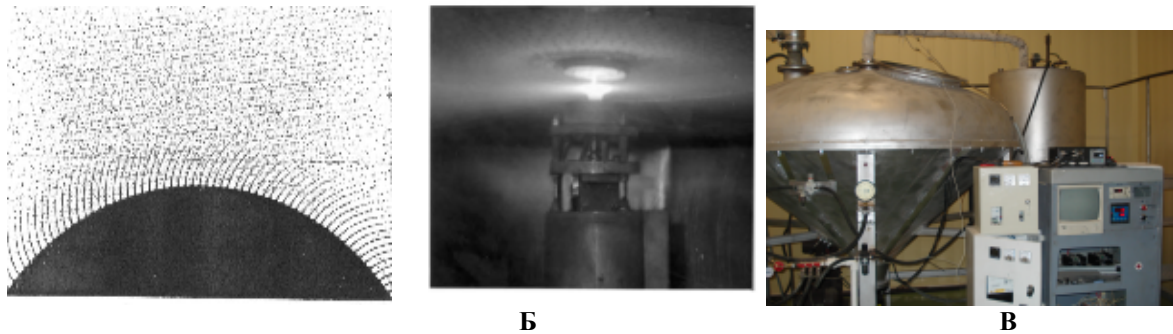


Рис. 2.Центробежное распыление расплава: А-схема, Б-распыление стали, В-установка УР-7М.

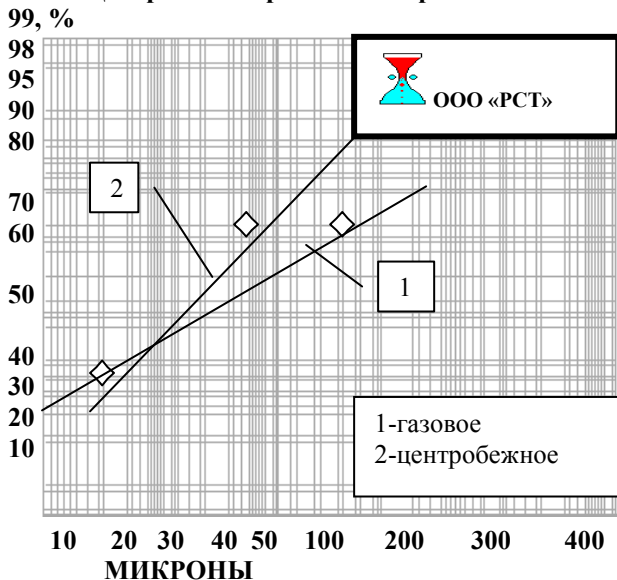


Рис. 3.Распределение частиц порошка AlSi12 по размерам для методов газового(1) и центробежного (2) распылений.

На рис. 3 представлены графики распределения порошков AlSi12 по размерам частиц в нормально-логарифмических координатах. Газовое распыление проводилось при давлении азота 30 атм.

Центробежное распыление при частоте вращения диска 20 тыс. об/мин. Расход расплава в обоих случаях был одинаков – 130 кг/час. Видно, что при центробежном распылении выход фракции -50+10 мкм составил 65%. Тогда как при газовом

распылении выход этой фракции составил всего 30%. Это связано с тем, что стандартное отклонение для газового распыления равно 2,1, тогда как для центробежного метода оно равно 1,5

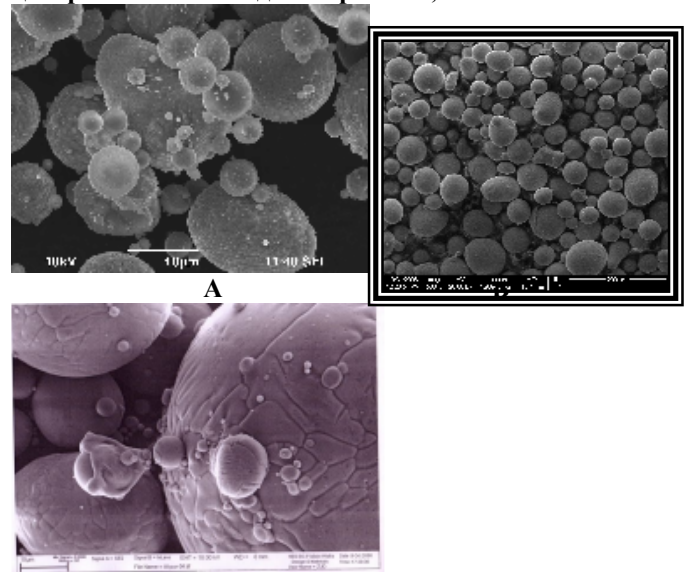


Рис.4. Порошки AlSi12, полученные А, Б, распылением газом, В- центробежным распылением.
Распылением газом(рис4, А) дает более широкий спектр частиц разного размера и частицы с сателлитами (Б), тогда как при центробежное распылении порошок более однороден.

ПОРОШКИ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Требования к порошкам Основные характеристики наиболее востребованных сплавов

1. Химический состав

Обычно порошки для SLS имеют сложный химический состав

Наименование основы	Наименование сплава	Размеры частиц, мкм	Содержание кислорода, %	Производитель	Цена на порошок, руб./кг
На основе никеля и кобальта	CoCrMo	20-50	0,0	ВИАМ	16000
	Inconel	10-50	0,03	НЦПМ (Пермь)	24000
	NiCrMo	10-50	0,02	ВИАМ	-
На основе железа	Нержавейка	10-50	0,05	НЦПМ(Пермь)	18000
	03X16H15M3	10-50	0,01	НЦПМ (Пермь)	15000
На основе алюминия	AlSiMg	50-100	0,05	ООО «РСТ»	1250
	AlSi	20-50	0,05	ООО «РСТ»	1250
	Д16	20-50	-	ООО «РСТ»	1500
	AlSi9Cu3	-	-	НПО»Русредмет	30000
На основе титана	ПТН-9	10-100	0,05	«Нормин»	-
	ПТН-8	0-45	0,05	«Нормин»	-
Полиамид	ПА12	10-50	0,05	ООО «АТГ»	-

1. Размеры частиц

Требования к размерам частиц разное: от 100 до 20 мкм. Это, видимо, обусловлено размером лазерного луча

2. Форма частиц

Для аддитивных технологий требуются частицы со сферической формой. Это связано с тем, что такая форма обеспечивает наибольшую упаковку и соответственно высокую плотность изделия.

3. Требование низкое содержания кислорода (менее 0,05% масс.) определяется уменьшением содержания оксидов, имеющих высокую температуру плавления.

СИТУАЦИЯ С РЫНКОМ ПОРОШКА ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

«Мы оказались в импортной зависимости, при этом цены на порошки из нержавеющей стали и сталей на основе никеля и хрома за рубежом — порядка 100–150 евро, а у нас — в два раза дороже. Как можно напечатать дешевую деталь, когда такая стоимость сырья?» — возмущается Олег Елистратов, заместитель генерального директора УЭХК по развитию неядерного бизнеса.

На разницу европейских и российских цен обращает внимание и директор центра «Современные производственные технологии» при Томском политехническом институте Василий Федоров. По его данным, цена за килограмм титанового порошка для российского потребителя — порядка 520 евро, а в Европе он стоит 230 евро (минимальная загрузка устройства — 20 кг).

Дальше всех продвинулся в разработке отечественных порошков и порошковых композиций ВИАМ. Некоторые их виды уже применяются в промышленности. К примеру, пермский «Авиадвигатель» заказывает институту

порошок для восстановления гребешков бандажных полок лопаток.

Однако пока речь идет о разработках и об установках лабораторного масштаба, которыми не закрыть даже существующий, небольшой по сравнению с другими странами спрос (по оценке ВИАМ, это около 20 тонн порошков в год). А парк 3D-принтеров для производства металлических изделий в России стремительно растет. Создание в РФ собственных установок промышленного масштаба сойдет цену и иностранным поставщикам порошков, убежден В. Федоров.

СПИСОК ПРЕДПРИЯТИЙ АКТИВНО ВНЕДРЯЮЩИХ АТ ТЕХНОЛОГИЮ,

ОАО «ВИАМ», НЦПМ (Пермь), ФГПУ «ЦНИИ «ПРОМЕТЕЙ», ОАО «ВНИИНМ», ОАО «КОМПОЗИТ», ОАО «НПО САТУРН», ОАО «АВИАДВИГАТЕЛЬ» РИЦ УРФУ (г. Екатеринбург), Завод электрохимических преобразователей УЭХК (г. Новоуральск), ООО «Распылительные системы и технологии» (г. Новоуральск), АМЕТ (г. АША) и др.

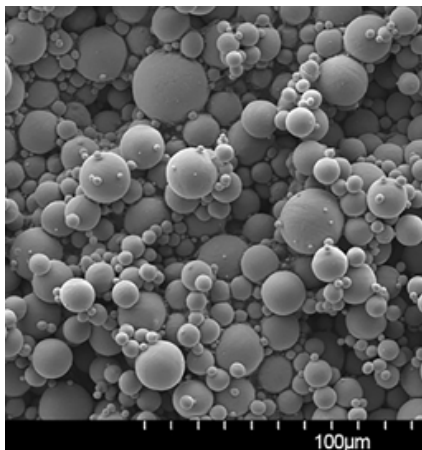
Компания ООО «РСТ» разработала проекты для производства порошков для аддитивных технологий газовым и центробежным распылением расплава с производительностью до 25 кг

1. ВИАМ: конференция по аддитивным технологиям. http://www.nanometer.ru/015/02/12/viam_462669.html
2. Михайлов Ю.М. Перспективы использования аддитивных технологий в оборонно-промышленном комплексе. <http://federalbook.ru/files/OPK/Soderjanie/OPK-11/III/Mihaylov.pdf>
3. Новости аддитивных технологий. Аналитический обзор SmarTech: рынок 3D-печати в стоматологии достигнет 3,1 млрд. к 2020 году. <http://fea.ru/news/6212>.
4. Аддитивные технологии в российской промышленности 12.05.2012. <http://konstruktor.net/podrobnее-det/additivnye-tekhnologii-v-rossijskoj-promyshlennosti.html>.
5. Shekhali M. Sheikhaliev, Zalina I. Sheikhalieva, John J. Dunkley. CENTRIFUGAL Atomisation Of Melt. INFLUENCE of CHAMBER OXYGEN ON THE SIZE And SHAPE Of aluminium POWDER PARTICLES.
6. WORLD PM 2016, Powder Metallurgy World Congress will be held between 09 October, 2016:

-Additive Manufacturing,
-Hard Materials and Diamond Tools,
-Hot Isostatic Pressing,
-New Materials and Applications,
-Powder Injection Moulding,

7. AP&C installs two new atomization reactors. Powder Metallurgy, winter 2015.

Компания Arcam AB заявила, что порошковый филиал металла AP&C, находящийся в Монреале, Канаде, строит свои четвертые и пятые реакторы, добавляющие значимую возможность к своему производству титана и никелю, суперсплавов порошки. AP&C использует свою плазменную технологию распыления, чтобы производить очень сферические порошки с реактивной и высокой точкой плавления материалов как например, титан, никель, цирконий, молибден, ниобий, тантал, вольфрам и их сплавы.



SMS титанового порошка компании AP&C

- Порошки, подходящие в диапазоне процессов как, например, аддитивные технологии, Формовать Инжекции Металла, горячее Isostatic, прессование и покрывая приложения. С этим новым поколением atomising технологии, AP&C - теперь в позиции поставлять для космоса и из титана изготовителей медицинской части порошок в нужно объемов сегодня и в будущем
8. Горизонты атома 24 канал РОССЯ, май 2015 г.
 9. Осокин Е.Н. Процессы порошковой металлургии, 2008.
 10. Шишковский И. В. Основы аддитивных технологий, 2015.
 11. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении, 2013.
 12. *Dr. Ian Gibson, Dr. David W. Rosen, Dr. Brent Stucker Additive Manufacturing Technologies, 2010*
 13. Additives for Plastics Handbook (Second Edition, 2016).

КОНГРЕССЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ

1. Мировой конгресс по порошковой металлургии состоится 9 Октября 2016 года в городе Хамбурге (Германия). На конгрессе будут рассматриваться публикации по темам:
- аддитивное производство,
- твердые материалы и алмазный инструмент,
- горячее изостатическое прессование,
- новые материалы и их применение,
- инъекция порошков.
2. 16 марта 2016 г. в ВИАМ пройдет II Международная конференция «Аддитивные технологии: настоящее и будущее».
3. Всероссийская конференция с международным участием «Кристаллизация: компьютерные модели, эксперимент, технологии» (КРИС-2016, апрель 2016, Ижевск)
4. 2-я международная выставка аддитивных технологий и инструментов. Франфурт-на-Майне (Германия), 15.11.2016-18.11.2016.