



Российская Академия Наук

Учреждение РАН
Физический институт им.
П.Н. Лебедева РАН.
Самарский филиал.



ЛАЗЕРНЫЙ СИНТЕЗ ОБЪЕМНЫХ ИЗДЕЛИЙ.

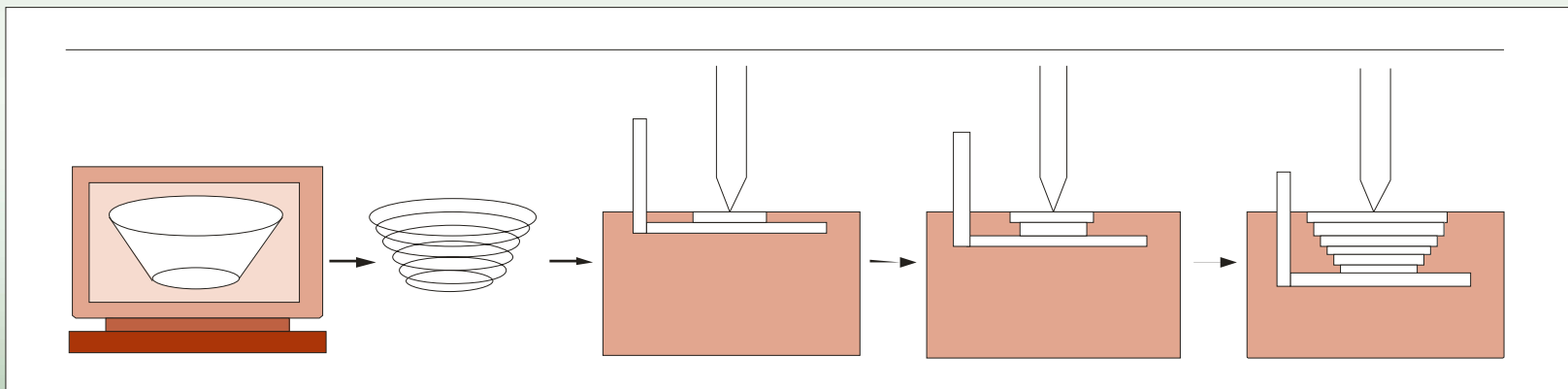
Шишковский И.В.

СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА :

1. Быстрое прототипирование (**Rapid Prototyping & Manufacturing - State of Art**).
2. Методики быстрого прототипирования.
3. Селективное Лазерное Спекание/Плавление и трехмерная наплавка:
 - Оборудование
 - Оптимизация режимов
 - Примеры приложений
4. Работы по Селективному Лазерному Спеканию и синтезу функциональных изделий в СФ ФИАН.
5. Выводы

Что такое быстрое прототипирование?

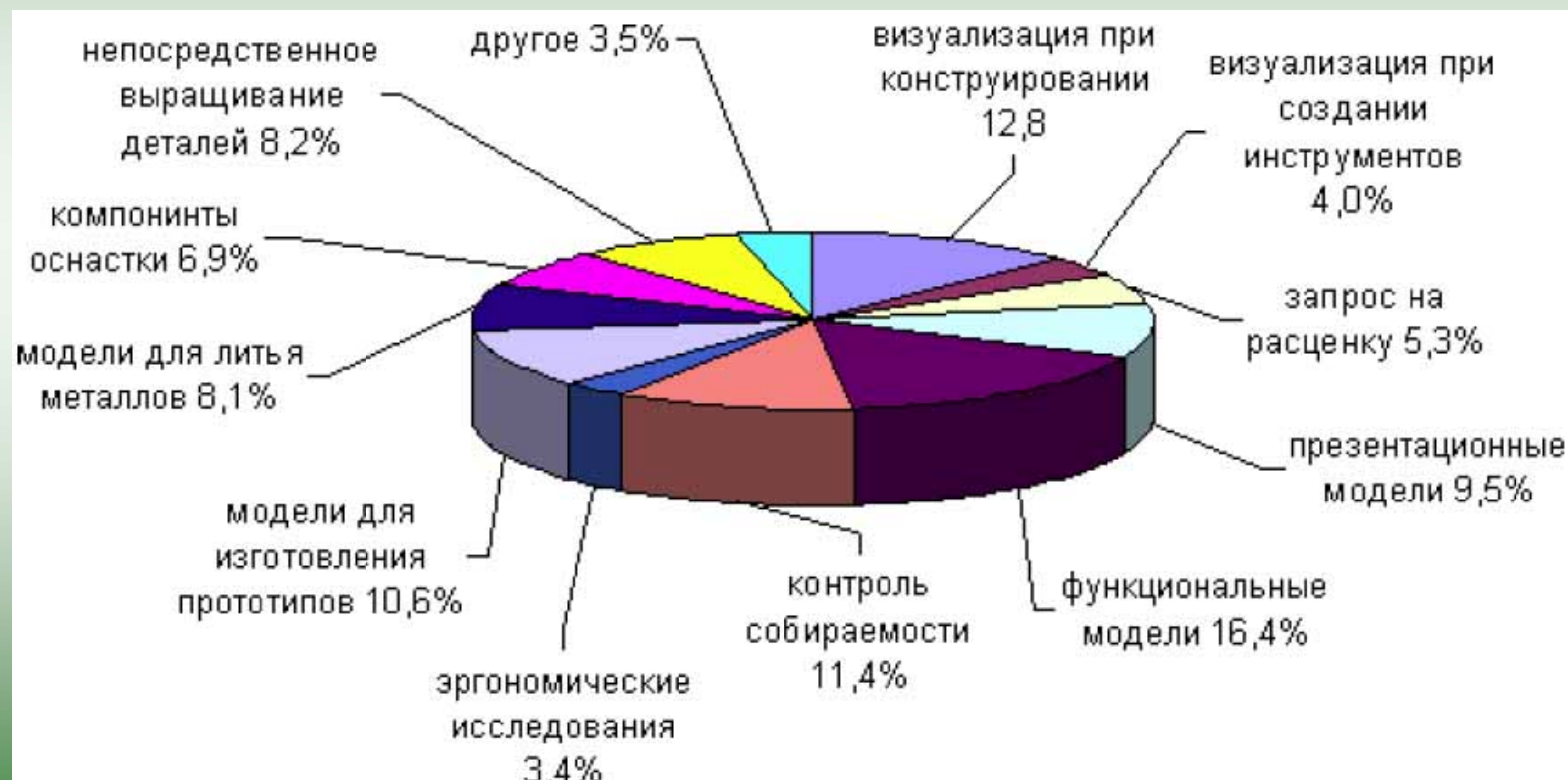
Объединение широко развитых Систем Автоматического Проектирования - САПР (англ. термин - Computer Aid Design – CAD, реализованных в виде «тяжелых» профессиональных пакетов программ - AUTOCAD, Solid Work, CATIA, Pro - Engineer, 3D Studio, 3D Компас и т.д.) с новой высокой технологией синтеза объемных изделий деталей машин (англ. термины - Rapid Prototyping & Manufacturing, Solid Free Form Fabrication и т.п.).



Совмещение CAD и RP&M технологий предлагает такие инструментальные средства и процедуры, которые являются идеальными для быстрого и эффективного в стоимостном плане преобразования виртуальных (компьютерных образов) изделий в рыночные продукты.

Зачем нужна технология быстрого прототипирования:

- Изготовление эталон - моделей и мастер - форм в технологии литья;
- Проверка на выполнимость новых понятий (концепций) проекта;
- Оценка пригодности/работоспособности разрабатываемых новых сложных механизмов;
- Возможность прямого использования этих копий в тестовых испытаниях;

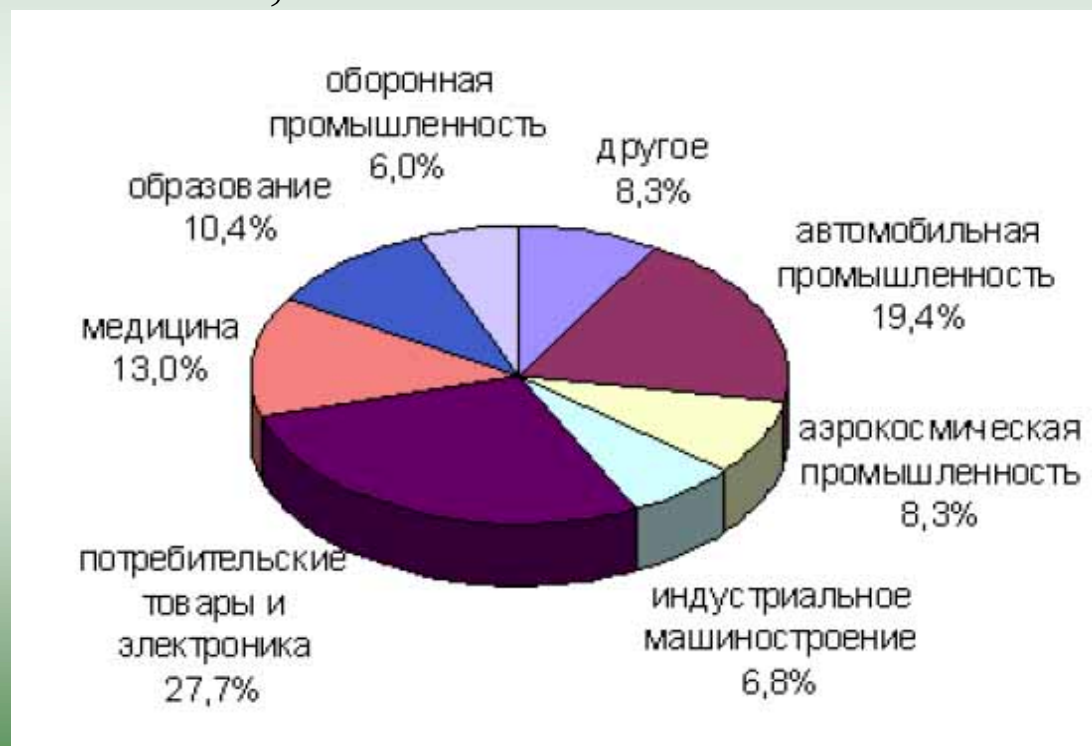


Преимущества технологии RP

- Уменьшение *time-to-market* (время до рынка);
- Сокращение ошибок и проблем уже на стадии проектирования;
- Высокая конкурентоспособность;

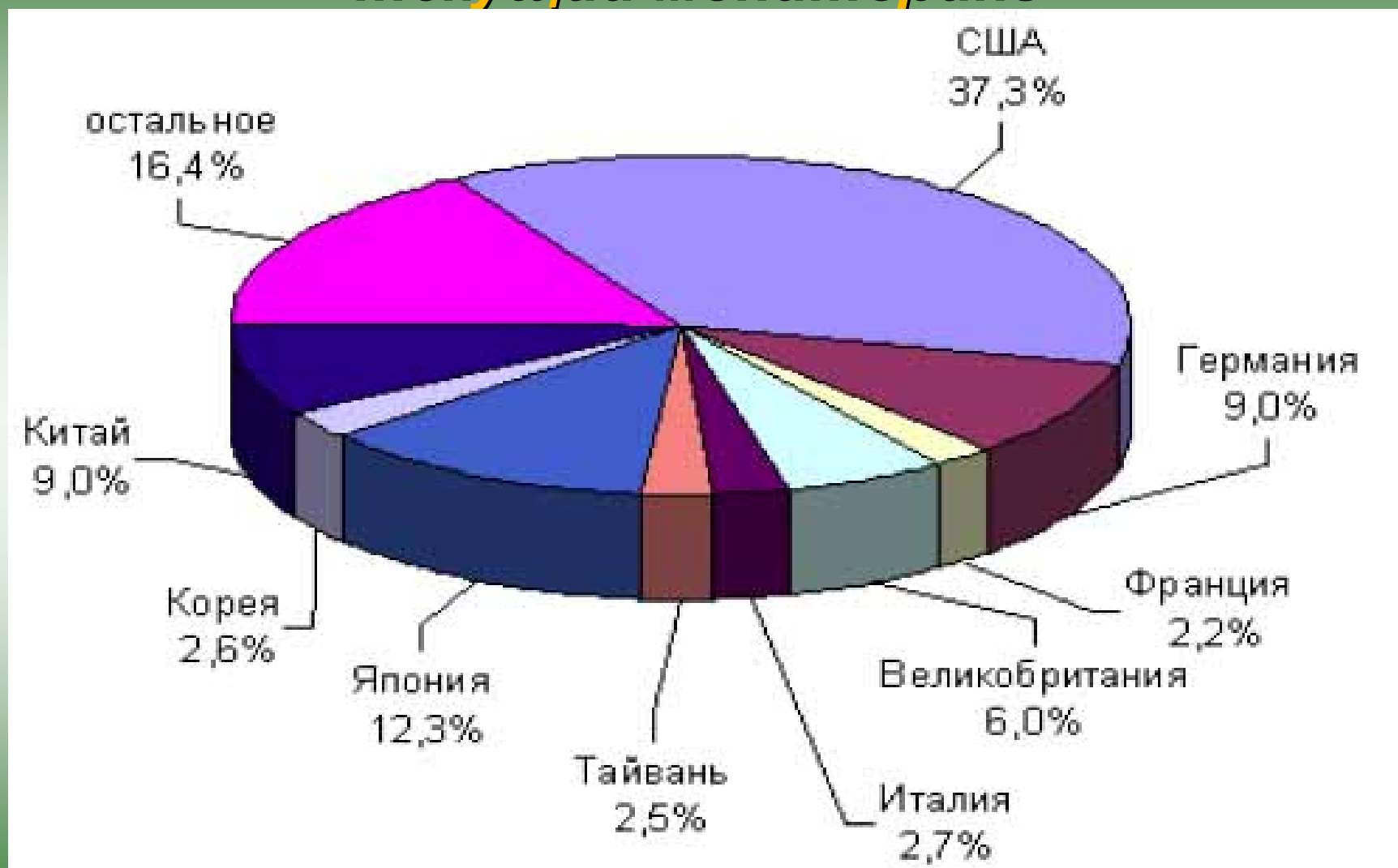
• Улучшенное
качественное управление
производством;

• Авторская защита
понятий (концепций)
проекта.



Быстрое прототипирование в России

текущий мониторинг



Быстрое прототипирование в России

текущий мониторинг

1. Институт проблем лазерных и информационных технологий (ИПЛИТ), РАН.
2. Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, СФ ФИАН.
3. Санкт-Петербургский институт точной механики и оптики – ИТМО (Технический Университет).
4. Лаборатория Лазерных технологий, ИАиЭ СО РАН.
5. ОАО Национальный институт авиационных технологий (НИАТ).
6. ГНЦ РФ «НАМИ», Центр Быстрого Прототипирования.
7. ОАО «НИИТавтопром».
8. "МАТИ" им. К.Э.Циолковского.
9. ESPPO, Группа компаний.
10. Уфимское моторостроительное производственное объединение, (УМПО).
11. АО «АВТОВАЗ», Генеральный департамент развития, Исследовательский центр.
12. ТехЦентр Solidscape, Компания "Ника-Рус".
13. Компания Cybercom Ltd. (ООО "НИЦ Кибернетики и Автоматики").
14. S&P International.
15. АРТИ, Завод Асбест-Резино-Технических Изделий.
16. Инженерный центр ОАО "Красный пролетарий" - "Компактные Интеллектуальные Технологии".
17. Компания "Документ-Бизнес" – Jetcom.
18. ЗАО "Промышленные компьютерные технологии" (Industrial Computer Technologies).
19. PUMORI-Engineering.
20. ООО "Инженерная фирма АБ Универсал".
21. SOLVER.
22. Центр Объемных Технологий «ИНВЕНТ».

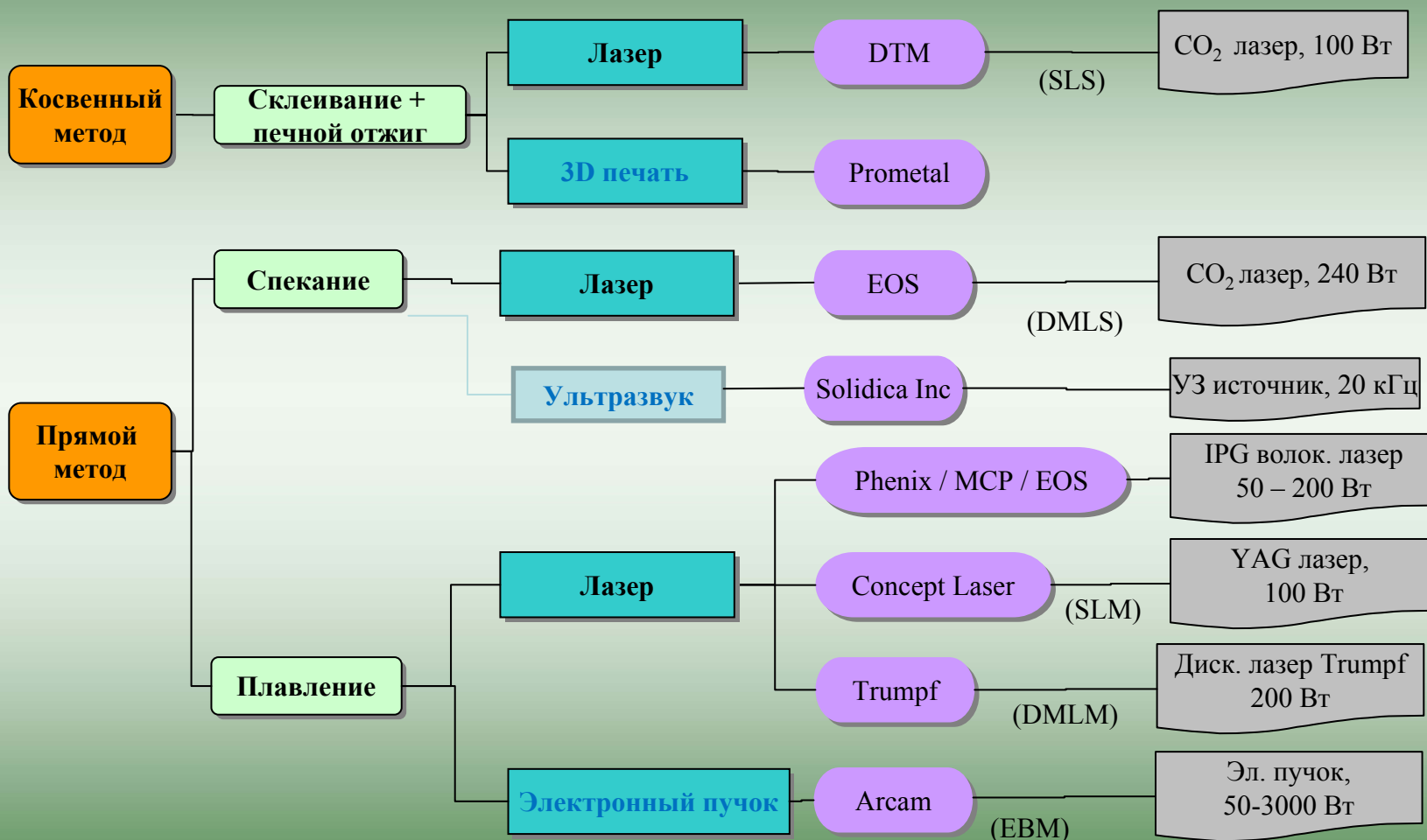
Методики быстрого прототипирования

ниже перечислены наиболее успешно коммерчески реализованные

(к настоящему времени известно более тридцати, в том числе не лазерных, методик):

- **Лазерная Стереолитография (SLA - Laser Stereolithography-1986 г.).**
- **Селективное лазерное спекание (SLS - Selective Laser Sintering – 1989 г.).**
- **Метод послойного создания литьевой формы (SDM – Shape Deposition Manufacturing – 1994 г.)**
- **Multi Jet Modeling (MJM) - многоструйное моделирование - 1992 г.**
- **Послойная заливка экструдированным расплавом (FDM - Fused Deposition Modeling 1992 г.).**
- **Послойное формирование объемных моделей из листового материала (LOM - Laser Object Manufacturing -1988 г.).**
- **Непосредственное создание литьевой формы (3D Printing -1993 г.).**
- **Объемная наплавка (LENS - Laser Engineered Net Shaping - 1996 г., DMD - Direct Metal Deposition - 1993 г., 3D Laser Cladding – 1994 г., 3D Laser Welding – 1999 г., 3D Laser generating – 1994 г.).**

Послойное лазерное спекание и плавление

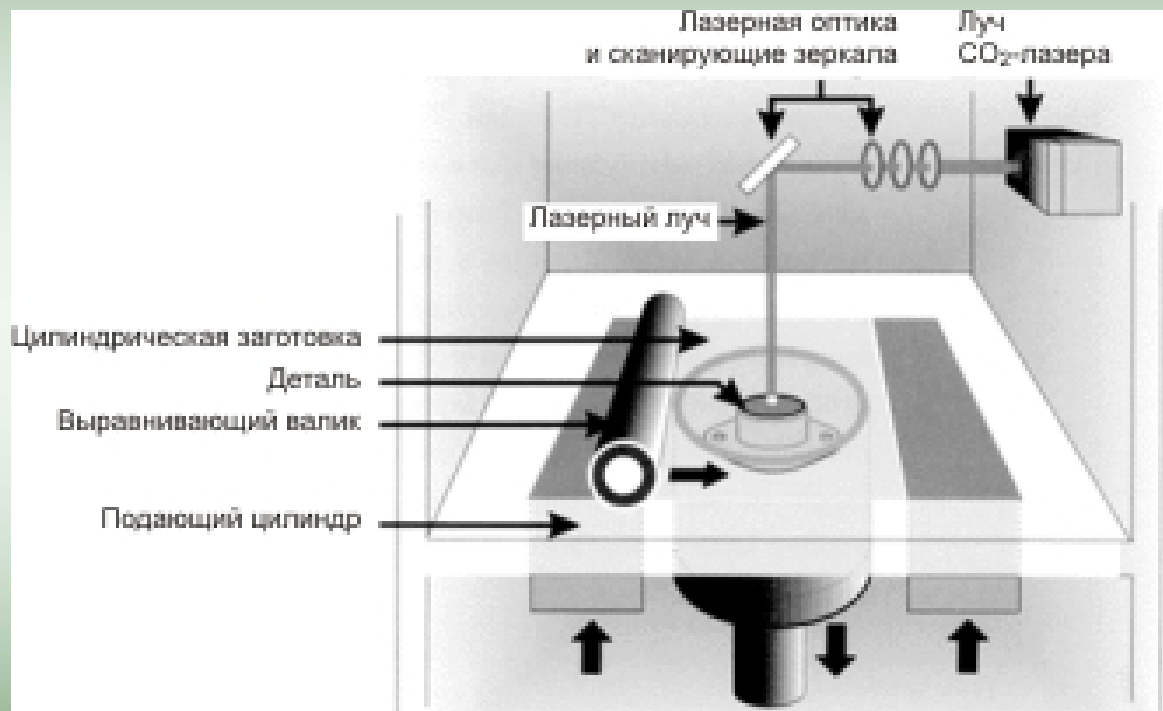


Селективное Лазерное Спекание (Selective Laser Sintering – SLS)

Методика предложена впервые Карлом Декардом (Carl Deckard) в 1989, установки производятся фирмой DTM Corp., Texas (с 1995 г. Sinterstation 2000, 2500 и т.п., фирма теперь принадлежит 3D Systems, USA) и EOS GmbH в Германии

Для этой методики нужны порошки мелкодисперсные, термопластичные, с хорошей вязкостью и быстро затвердевающие, например:

- полимеры;
- воск;
- нейлон;
- керамика;
- металлические порошки.



СЛС/П оборудование

Phenix PM100(2003, France)~400 тыс. €



Основные характеристики:

-Спекаемый объем цилиндр 100 мм опускается на высоту 100 мм

Рекомендуемые порошки:

Металлы : Inox, Сталь, Nickel

Керамика : Оксиды алюминия, циркония, муллит - $Al_6O_{13}Si_2$

Непрерывный оптоволоконный иттербиевый лазер фирмы IPG Group - YLR-100, мощностью 100 Вт, Длина волны 1070 нм, диаметр пятна 60 мкм, объектив с фокусным расстоянием ~ 420 мм.

Дополнительная опция: термич. печь до 900 °С.

Софт : PHENIX CONTROL, PHENIX PROCESSING

Паспорт. характер работы :

Точность воспроизведения структур: +/- 50 μm до 120 mm

Уровень : 150μm (300 μm для керамик)

Пост обработка : полировка, термообработка.



3D печать ~ 100 тыс. €

СЛС/П оборудование

Phenix PM100(2003, France)~400 тыс. €



Спекание электронным пучком,
фирма ARCAM AB (2006,
Sweden) ~900 тыс. €

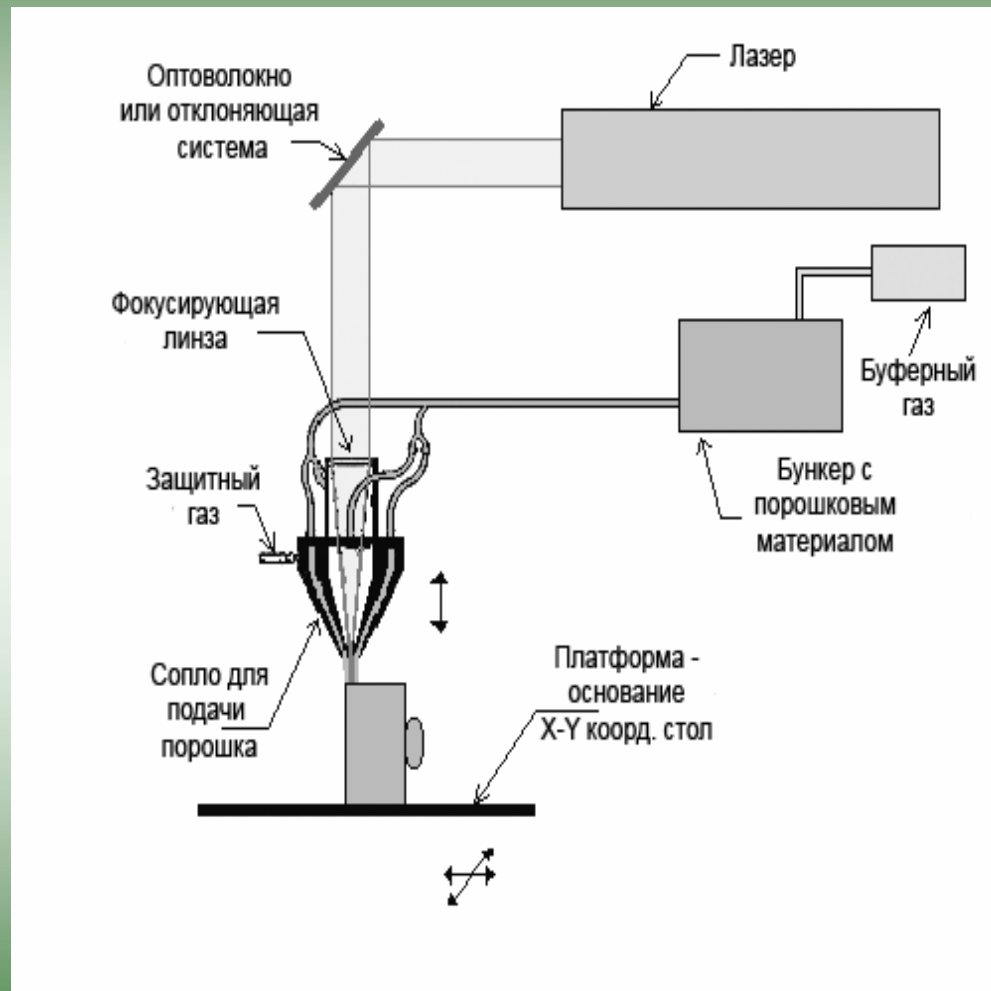
DSLS(M) процесс – установка EOS
M250Xtended (2005, Germany) ~ 600
тыс. € (спекаемый объем: 250 x 250 x
180 мм, CO₂ лазер мощностью 240 –
180 Вт, толщина слоя - 0.02 мм,
точность +/- 0.05 мм)



3D печать ~ 100 тыс. €

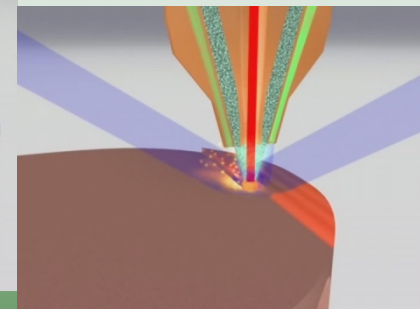
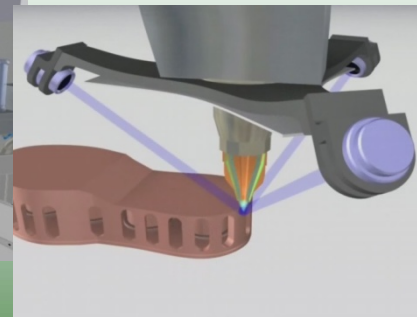
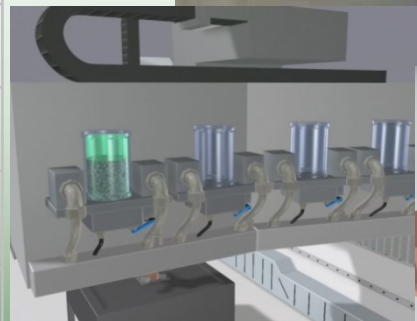
Объемная наплавка (LENS, 3D Welding, 3D *Введение* Cladding, Direct Metal Deposition and etc.)

Лазерное излучение большой мощности используется, чтобы расплавить порошок металла, доставляемый в зону наплавки соосно лазерному лучу через специальное сопло. Лазерное излучение идет по центральной части сопла и фокусируется одной или более линзами. Координатный стол перемещается по X-Y-Z, чтобы сплавить каждый слой 3D объекта. Порошковый материал поставляется и распространяется вокруг окружности сопла самотеком, или используя транспортный газ. Газ также используется, чтобы экранировать зону наплавки от атмосферного кислорода, для лучшей управляемости процессом, и обеспечить высокую смачиваемость поверхности.



Trumpf DMD -505 для послойной 3D лазерной наплавки

TLF лазер		TLF 5000
Длина волны	[μm]	10.6
Лазерная мода		TEM 01*
Мак. Выход. мощность	[Вт]	5000
Диапазон плавно регулируемых параметров x Им.. X непр. режимы (5%–100%) x CW режим (75%–100%)	[Вт] [Вт]	250–5000 3750–5000
Постоянство Мощности (с точки зрения номинального выхода)	[%]	± 2
Диаметр пучка на выход. зеркале	[мм]	15
Угол отклонения (пол. угол)	[град]	1.0
Частота повторения импульсов		100 Гц - 100 кГц
Режим маркировки		10 Гц, 80 Вт
Длит. импульса		10 μs - CW



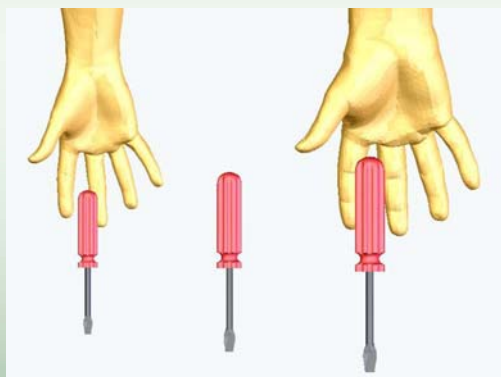
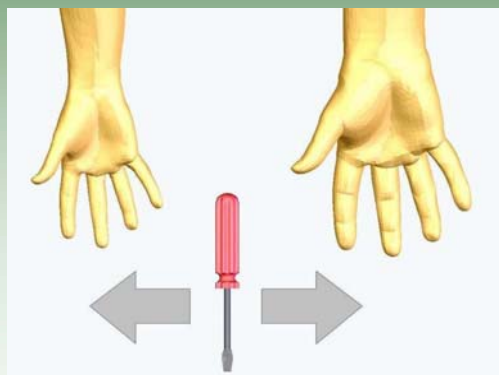
Фрагменты работы DMD 505

Приложения

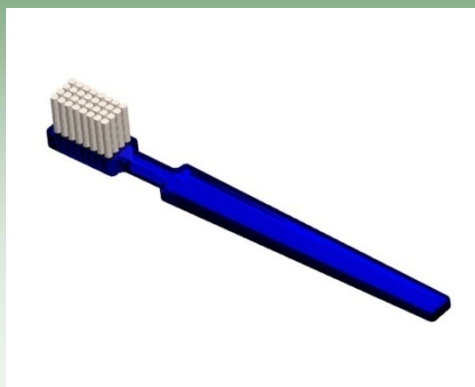
- Производителями любых сложных инновационных многокомпонентных устройств;
- Изготовителями серийной продукции (аэро-, авто-промышленность, среднее и тяжелое машиностроение, товары народного потребления и т.п.);
- Литьевое производство (технология литья по выплавляемым формам и т.п.);
- Архитектура (проектировка, дизайн и т.п.);
- Археология;
- Криминалистика;
- Медицина и лекарства.

Дизайн и верификация

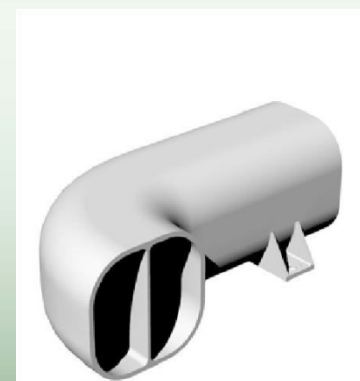
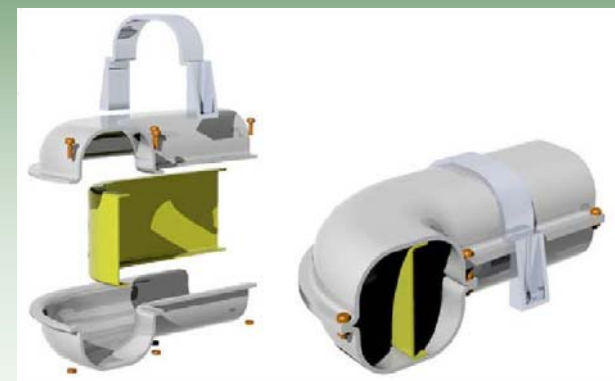
Эргономика



Эстетика

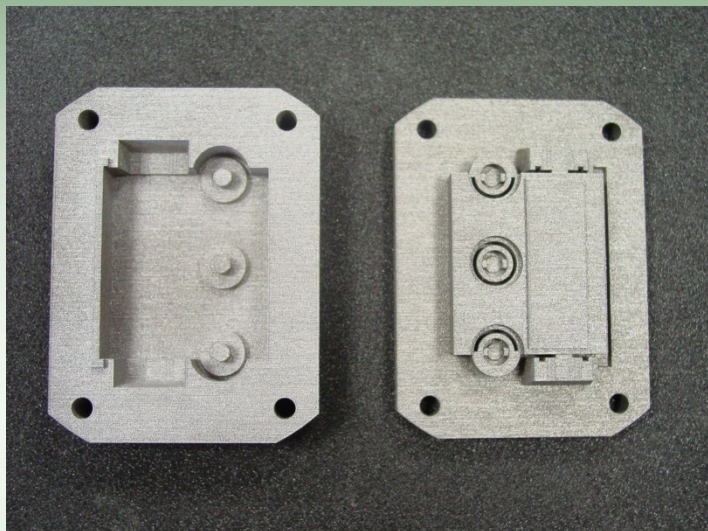


Число копий



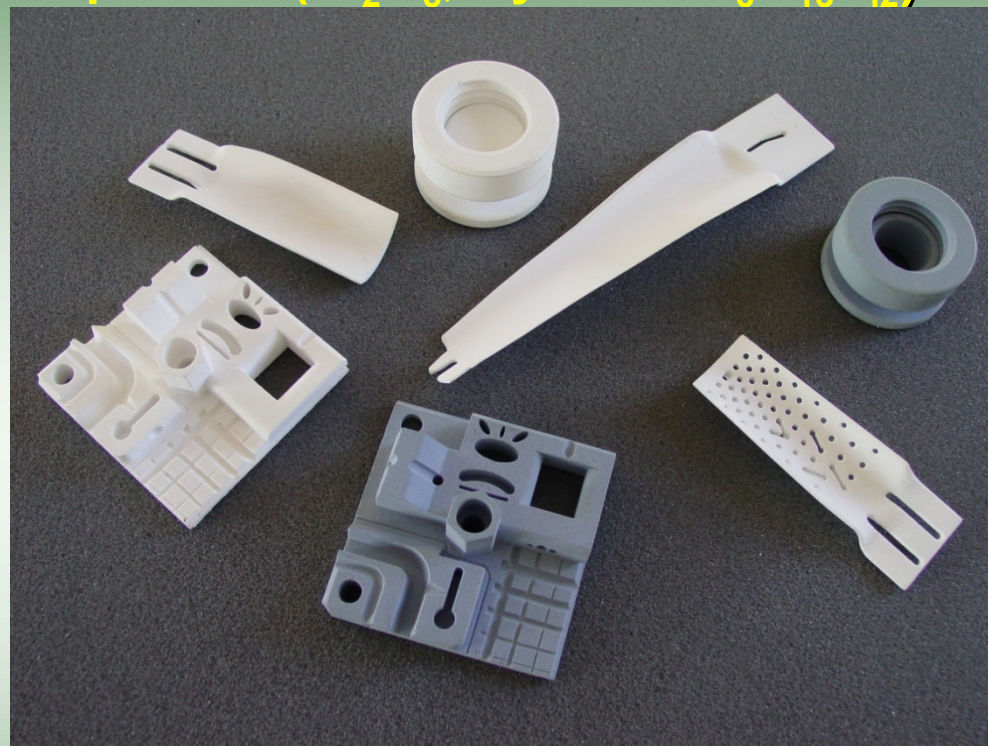
Литье по выплавляемым формам*

Нерж. сталь



Точность : +/-50 μm /120 mm
Размеры микро деталей : 100 μm
Воспроизводимость : 20 μm по x, y, z

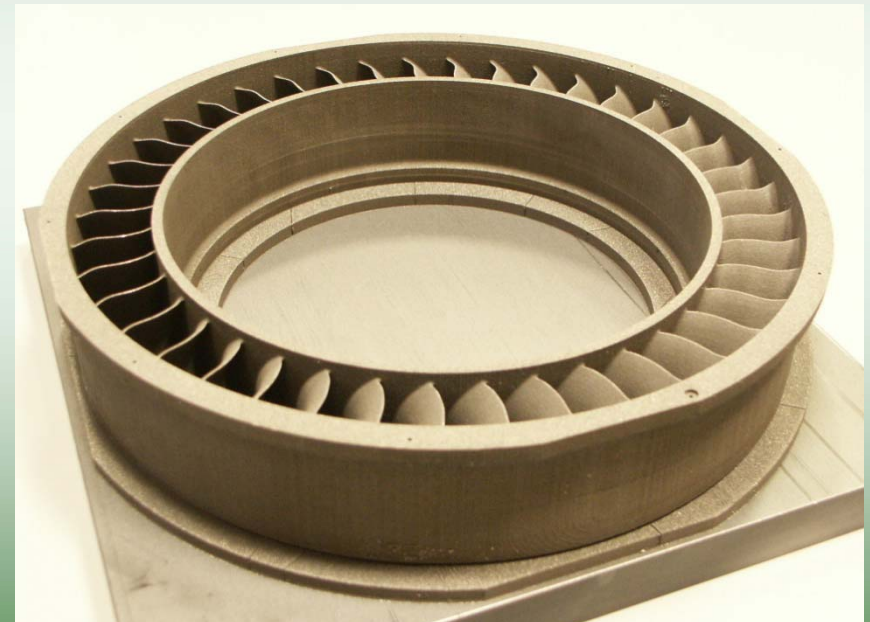
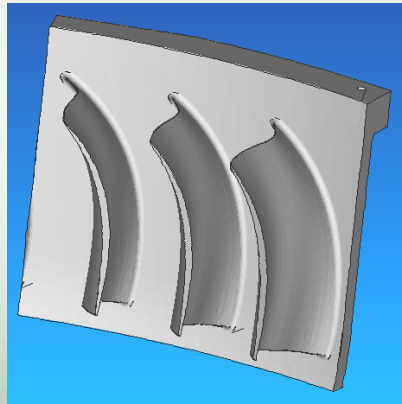
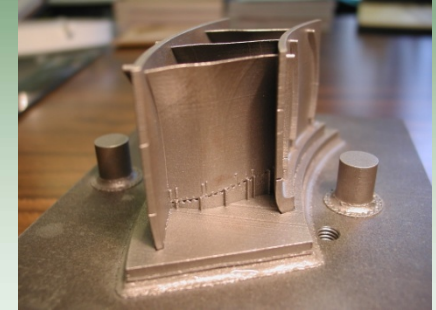
Керамика (Al_2O_3 , муллит $\text{Al}_6\text{O}_{13}\text{S}_{i2}$)



Точность : +/-50 μm /120 mm
Размеры микро деталей : 300 μm
Воспроизводимость: 20 μm по x, y, z

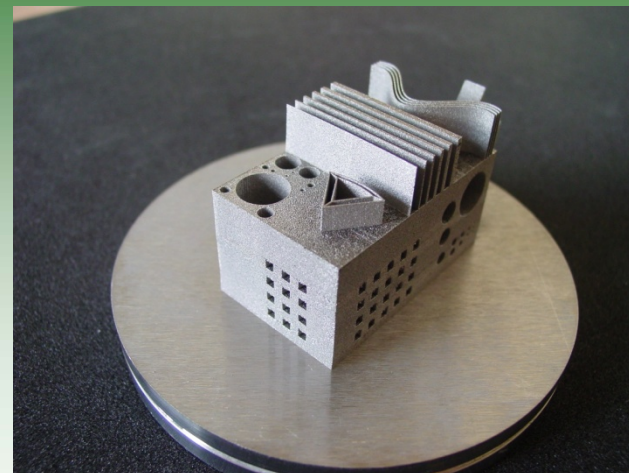
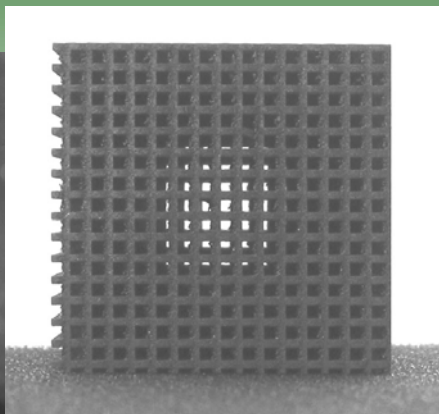
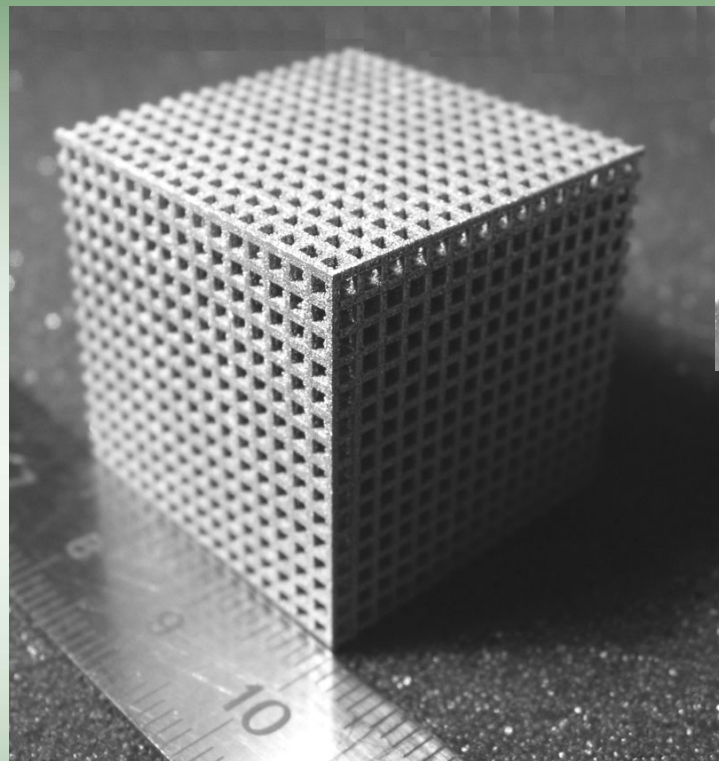
Применение в авиастроении

Лопатки турбин с изменяемым наклоном

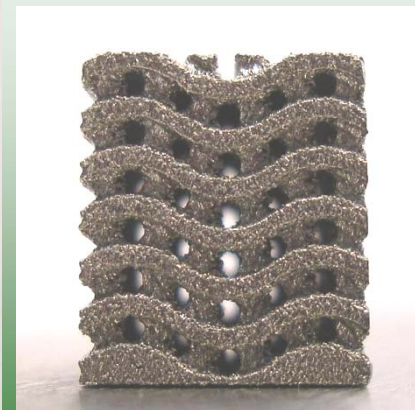
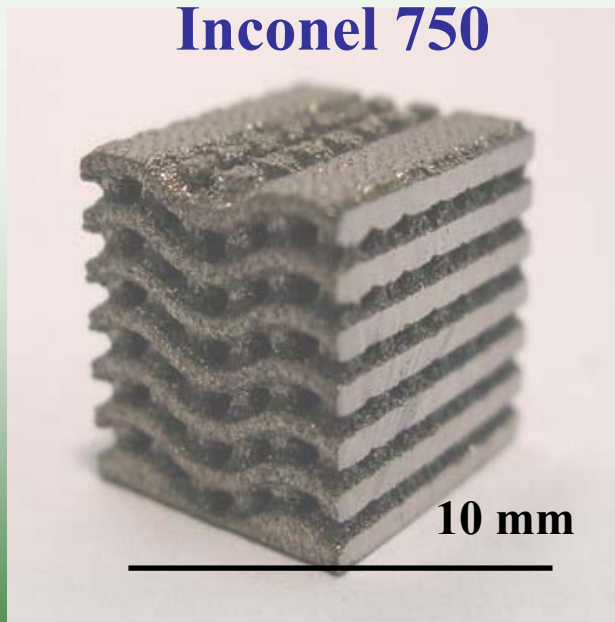


Образцы с регулярной пористой периодической (управляемой) структурой

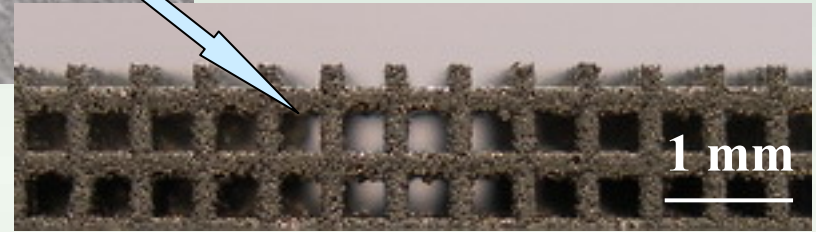
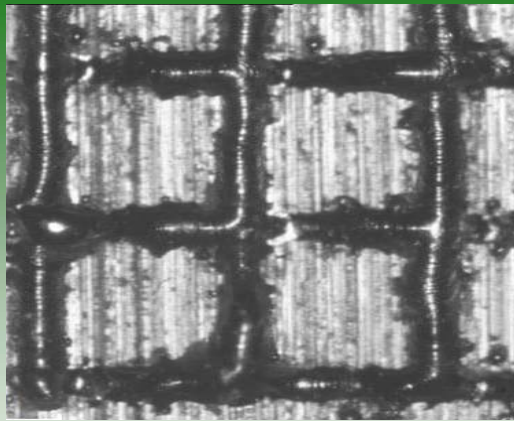
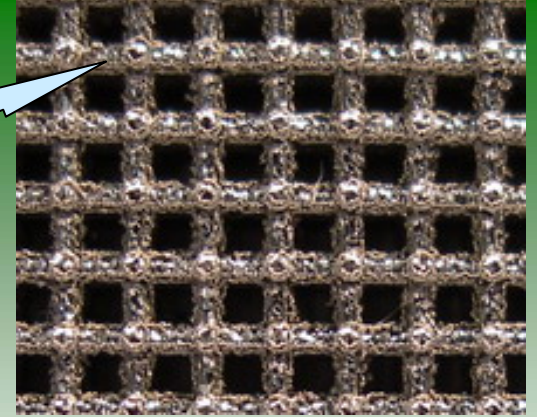
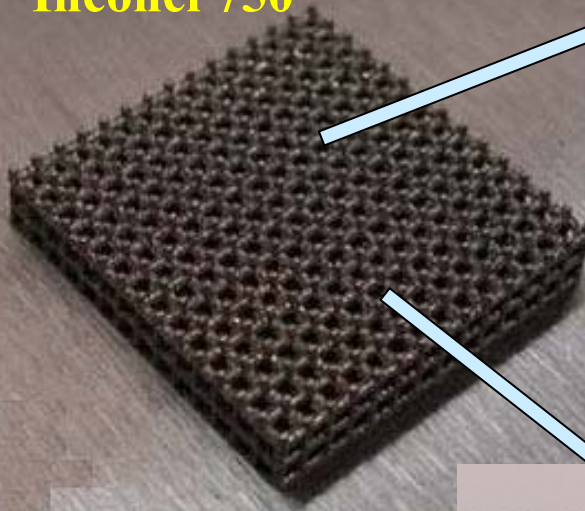
Inox 316L



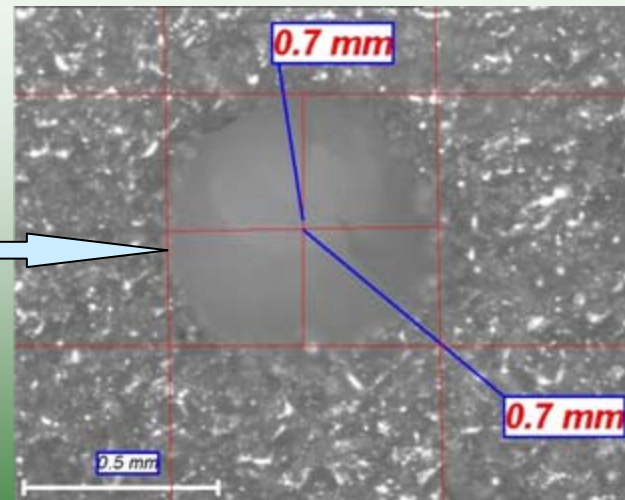
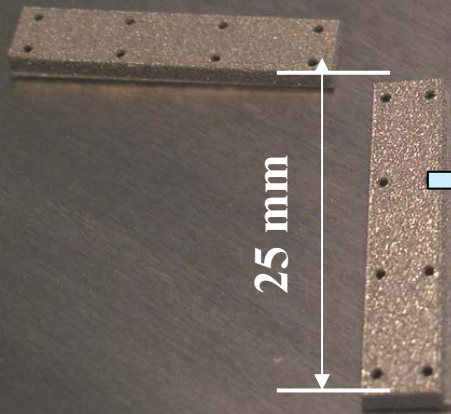
Inconel 750



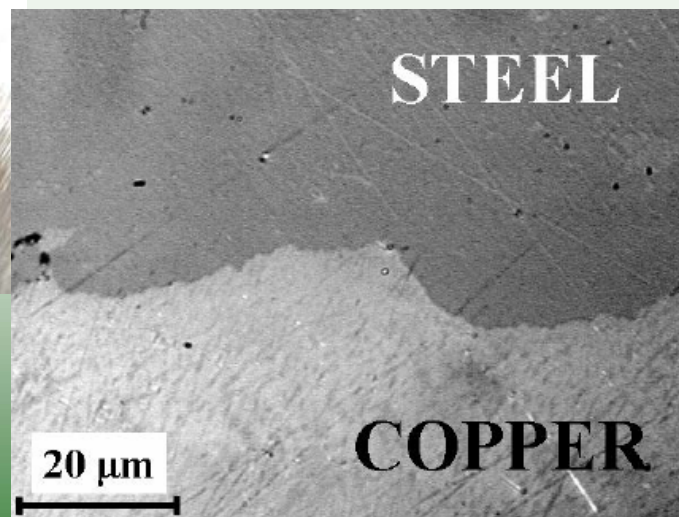
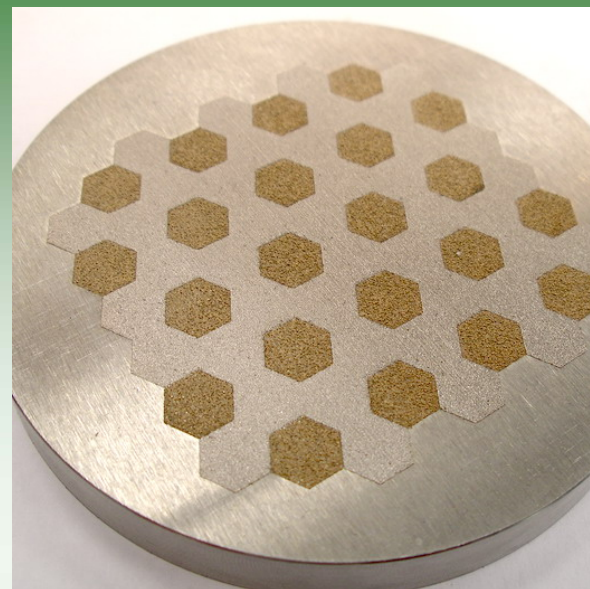
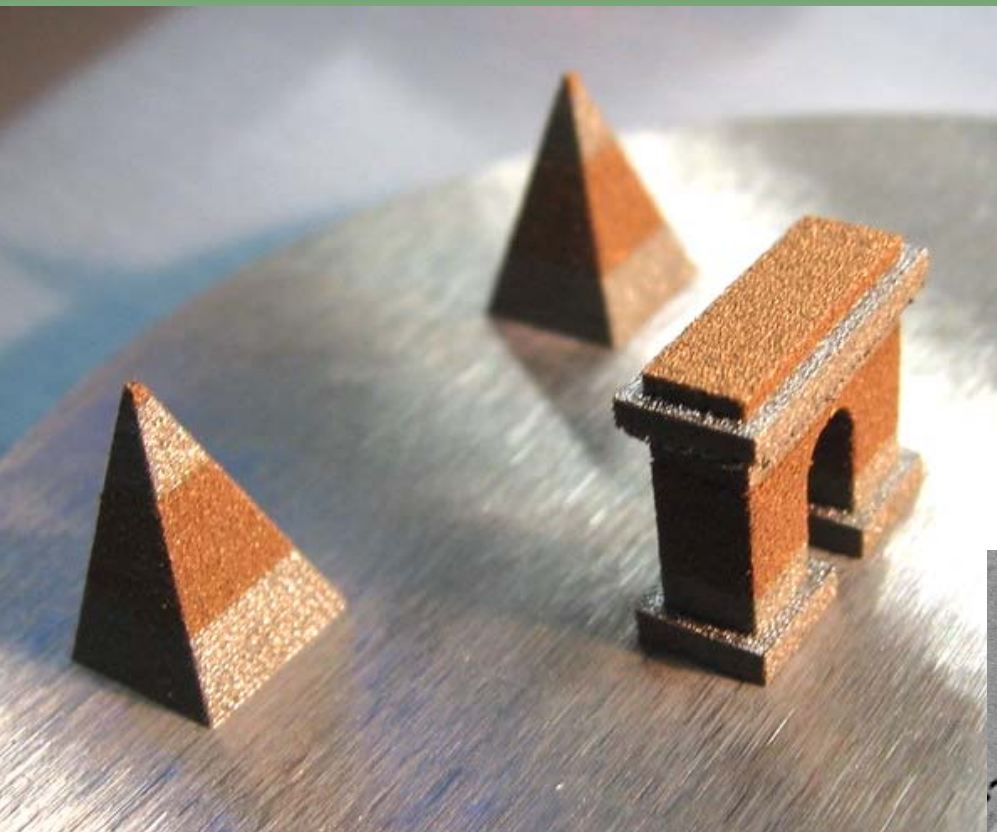
Inconel 750



Inox 904L



Функционально-градиентные изделия



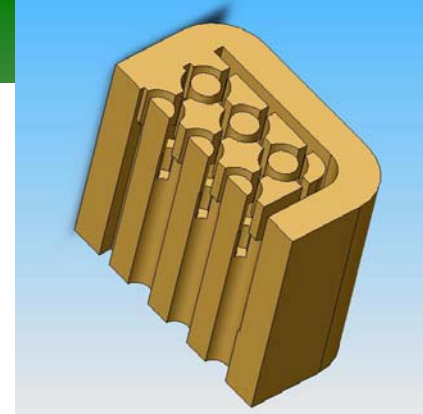
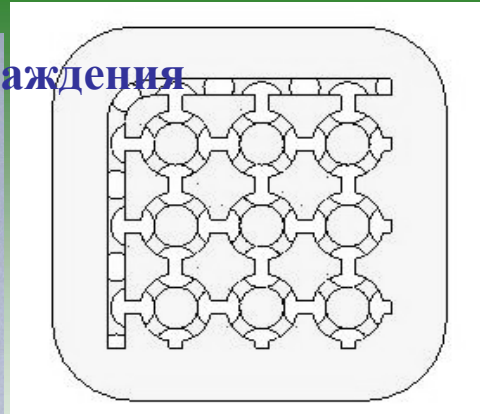
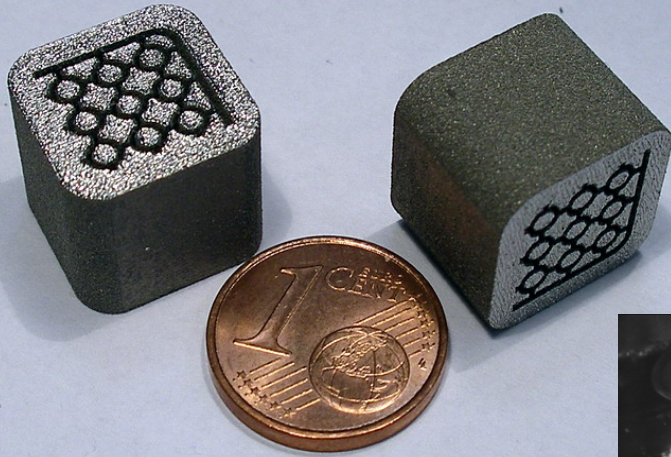
Inox 904L



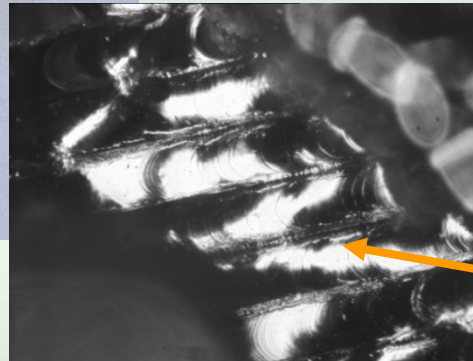
Изделия с внутренними каналами охлаждения

Inox 904L

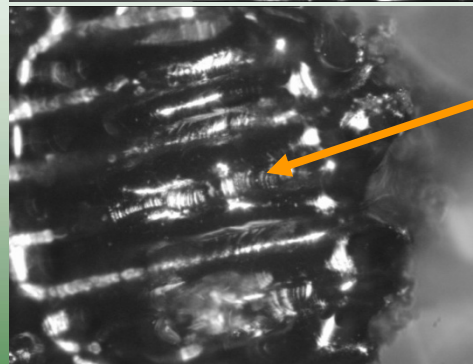
Изделие с внутренними каналами охлаждения



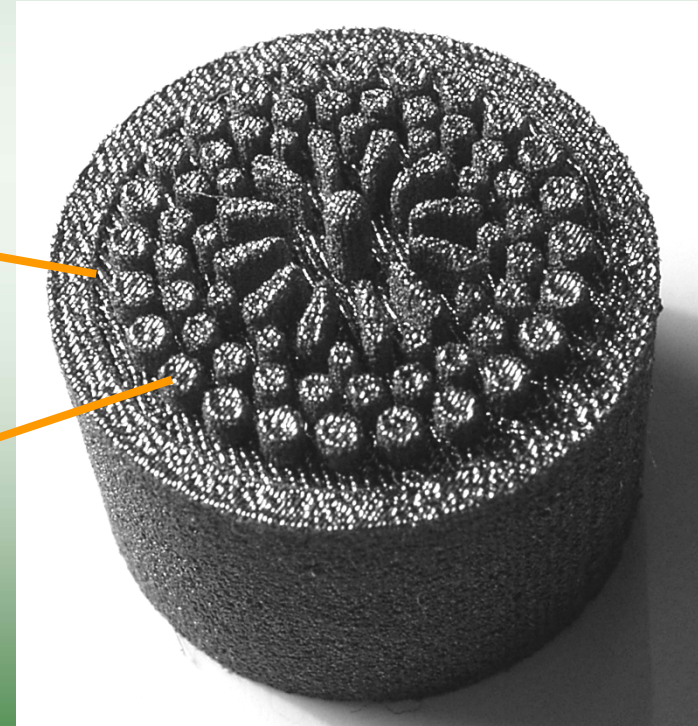
Поверхность
между штифтами



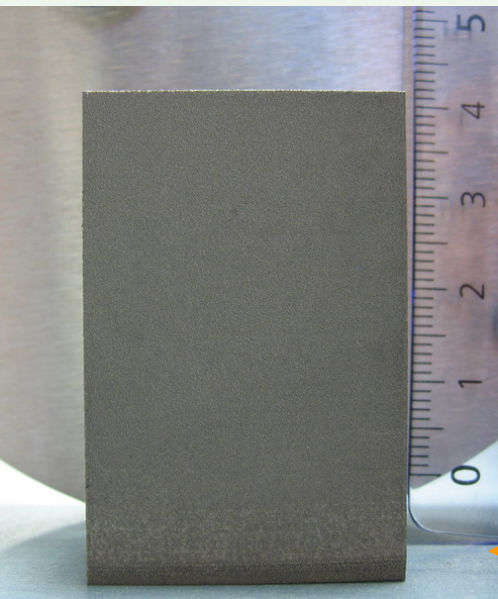
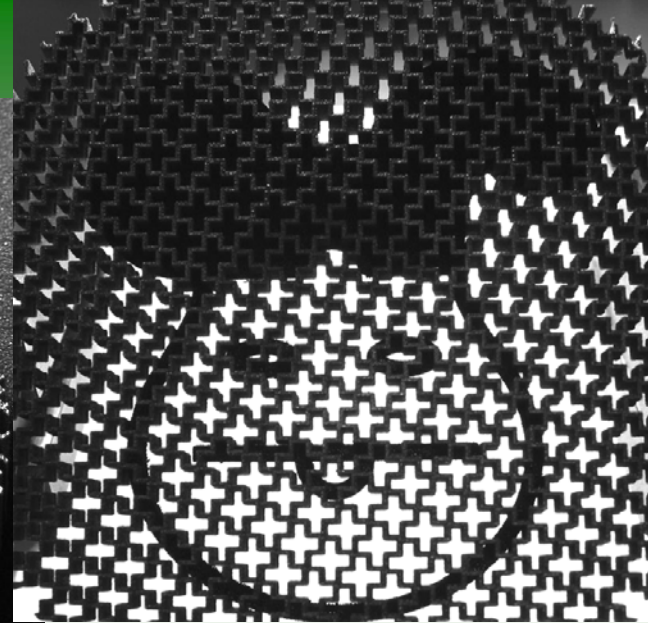
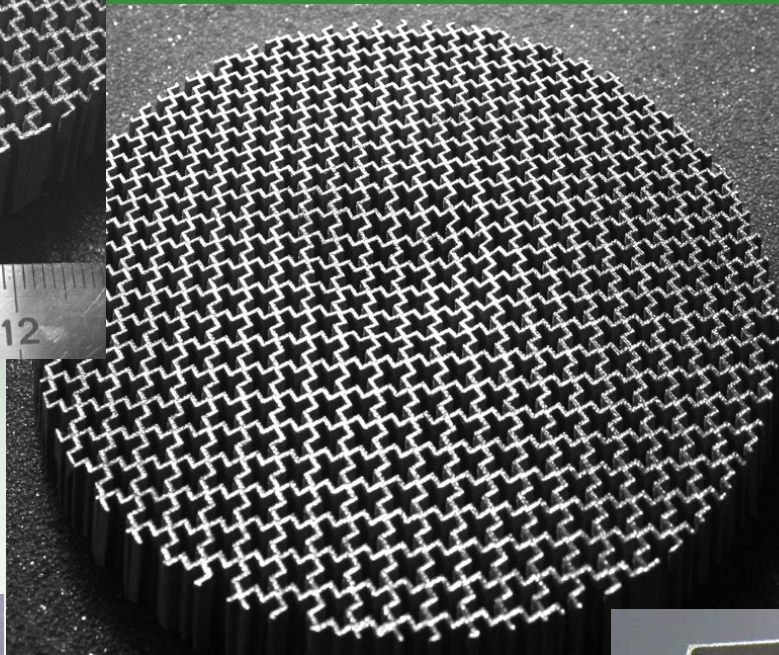
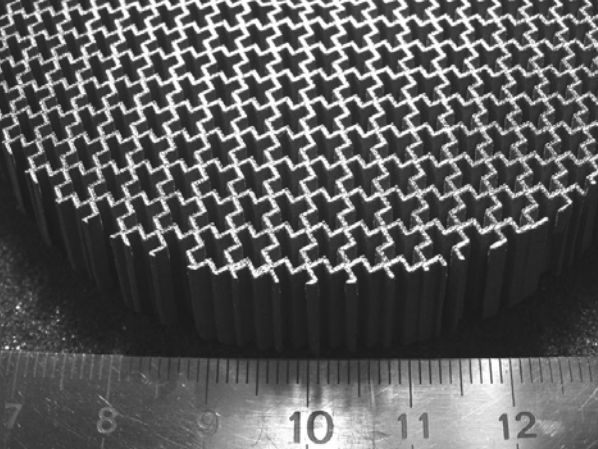
Поверхность
одного
штифта



Деталь охлаждающих
секций (проект ITER)

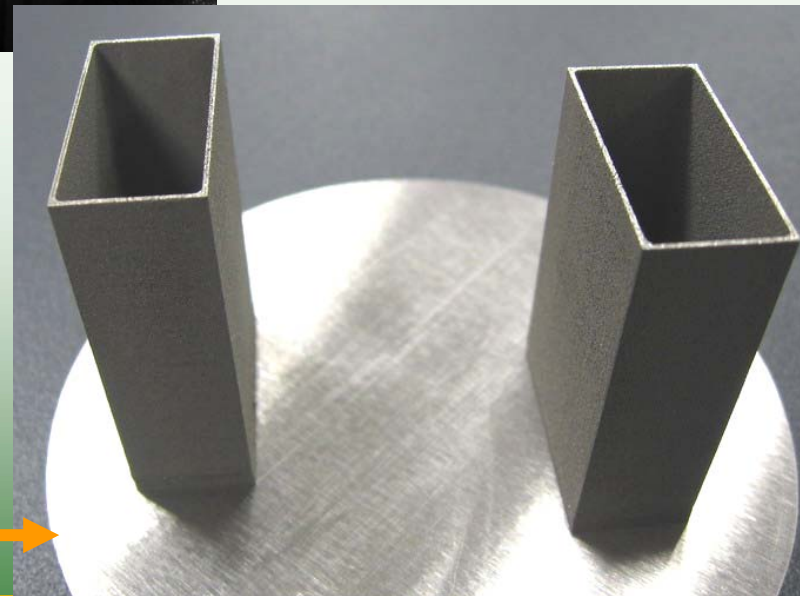


Inox 904L



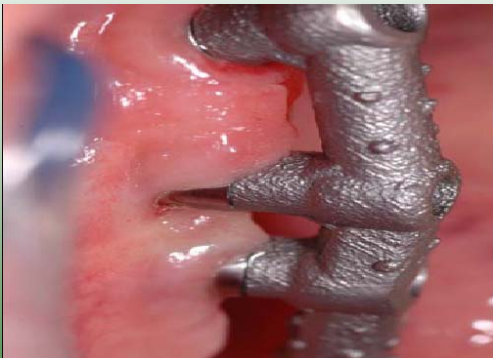
Фигурная сетка каналов,
«smart» фильтры

Тонкостенные изделия



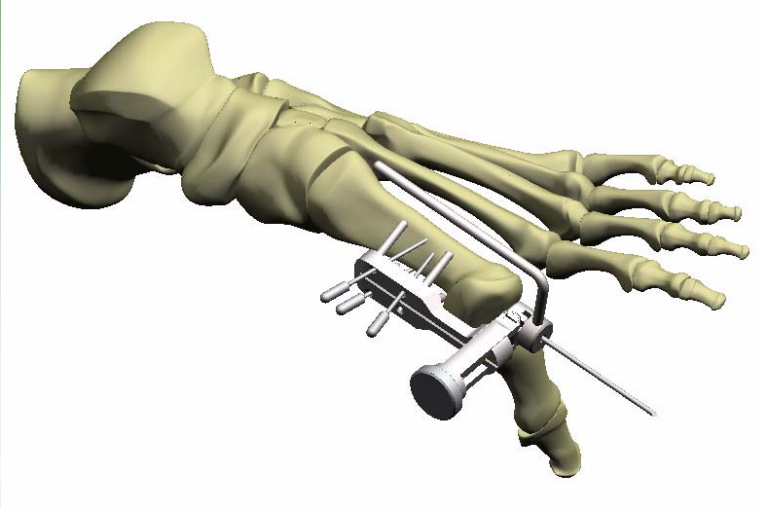
Примеры «медицинского» использования RP&M:

- Кардиология (модели работы сердца, клапана, до - и после - операционный анализ хирургического вмешательства);
- Стоматология и челюстно-лицевая хирургия (стоматологические индивидуальные протезы, до- и после- операционный анализ хирургического вмешательства);
- Медицинские устройства (быстрые прототипы- индивидуальные формы зажимов, щипцов и т.п.);
- Ортопедия (строго индивидуальные модели кости, руки , ноги, до- и после- операционный анализ хирургического вмешательства);
- Радиология (Модель лица, черепа);
- Спортивная медицина (восстановление коленных связок, индивидуальные растяжки, моделирование восстановительных операций);
- Лекарственные препараты и их доставка (моделирование химических процессов).



Медицинские приложения

Моделирование и восстановление

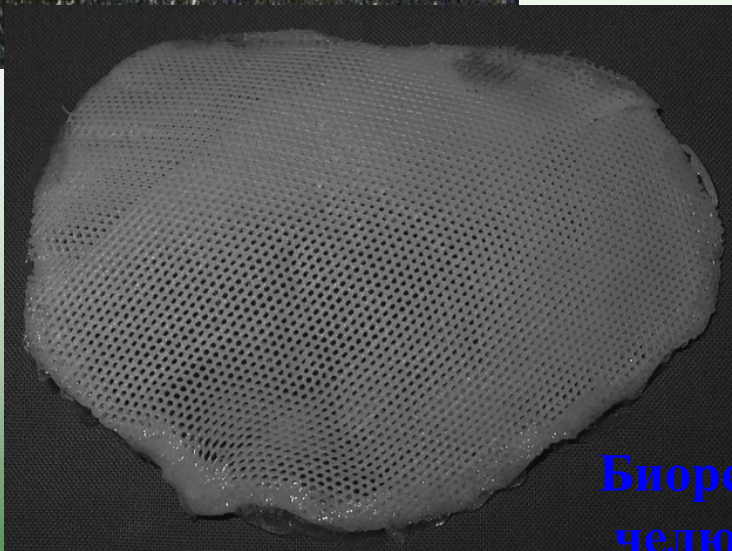


Стоматология и краниопластика

ZrO_2

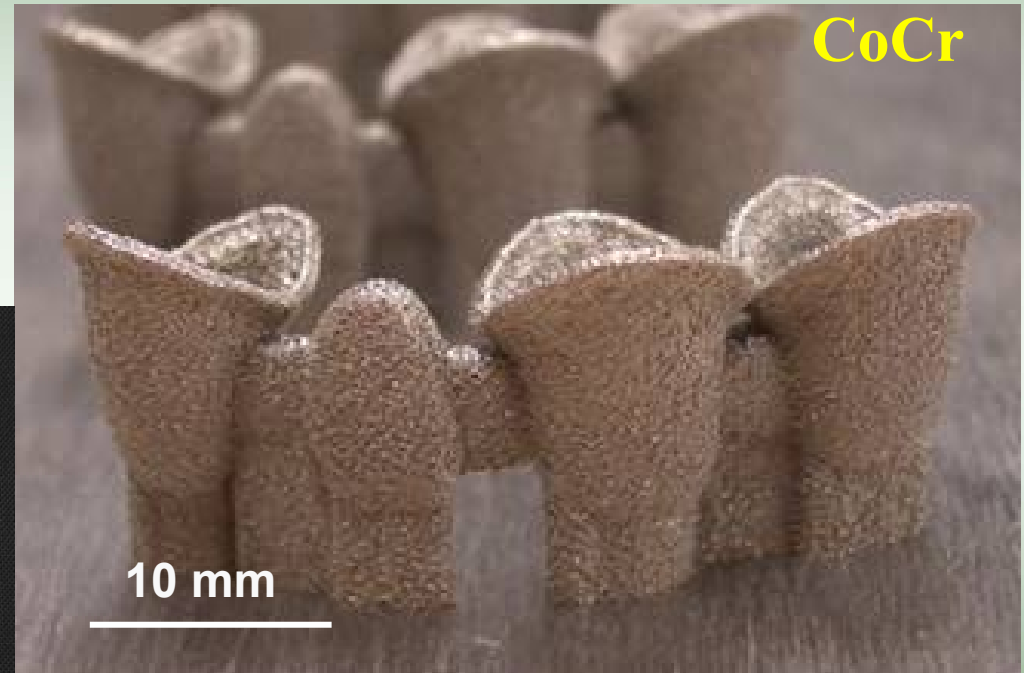


Имплант нижней челюсти с пористой структурой для насыщения лекарственными препаратами



Биорезорбирующая сетка для челюстно-лицевой хирургии

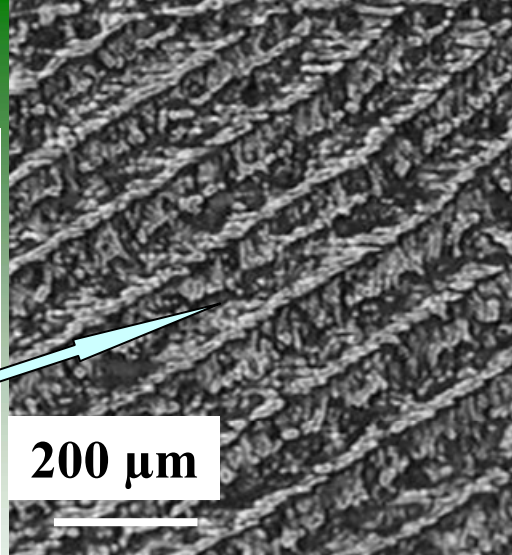
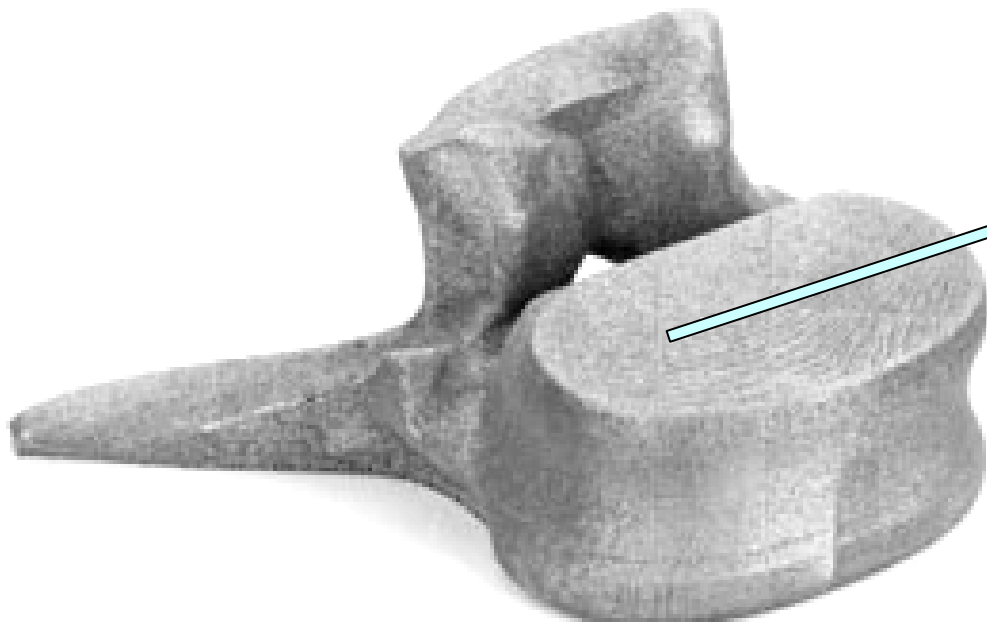
CoCr



10 mm

мостовидный зубные протезы

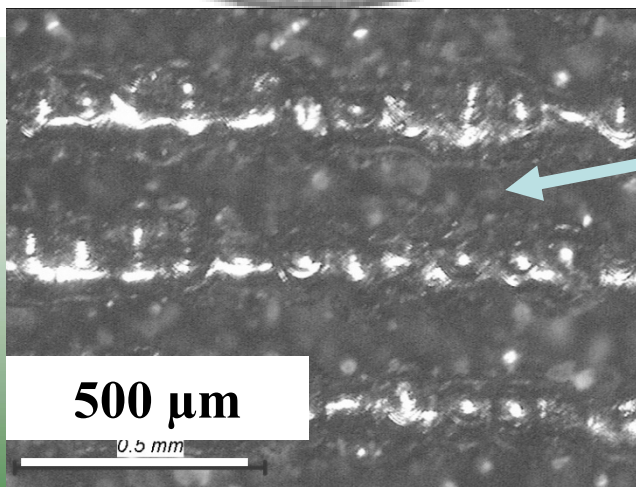
Крестцовый позвонок с шероховатой микроструктурой поверхности



200 μm

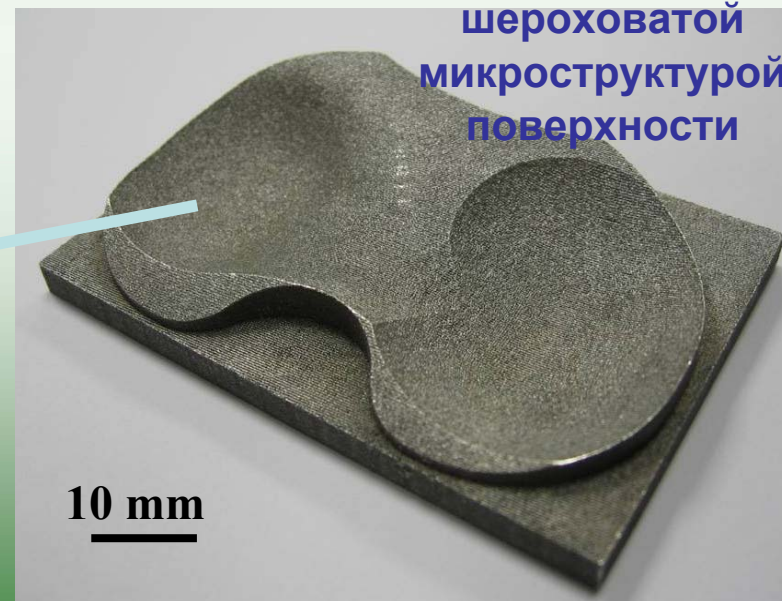
Inox 904L

Модель коленного мениска с шероховатой микроструктурой поверхности



500 μm

0.5 mm

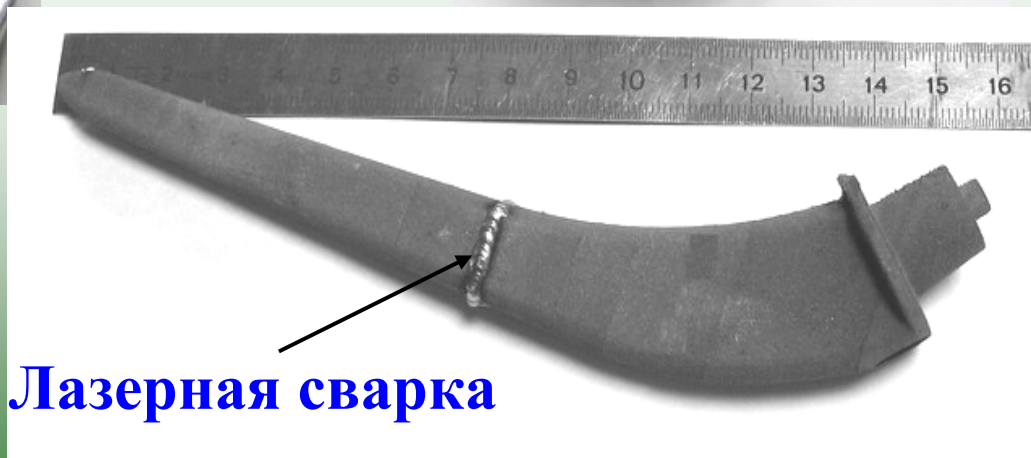


10 mm

Тазобедренный сустав



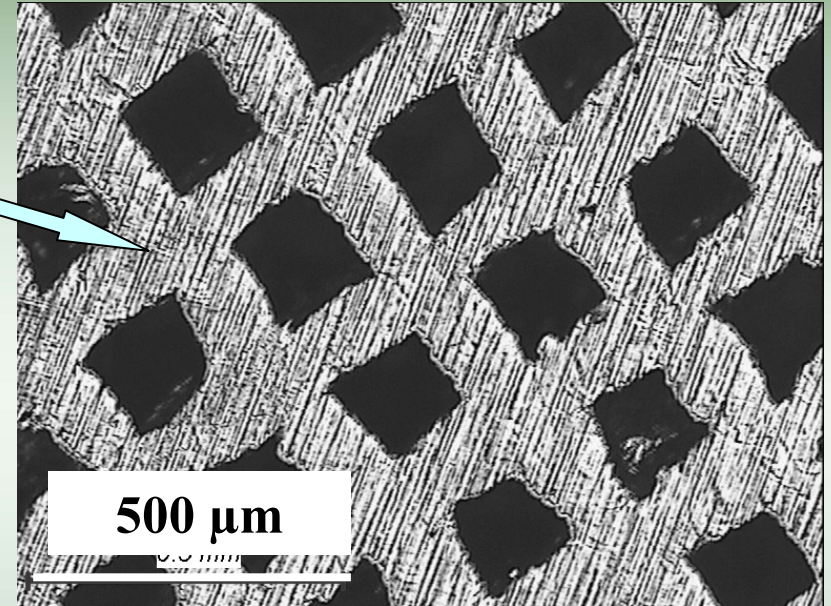
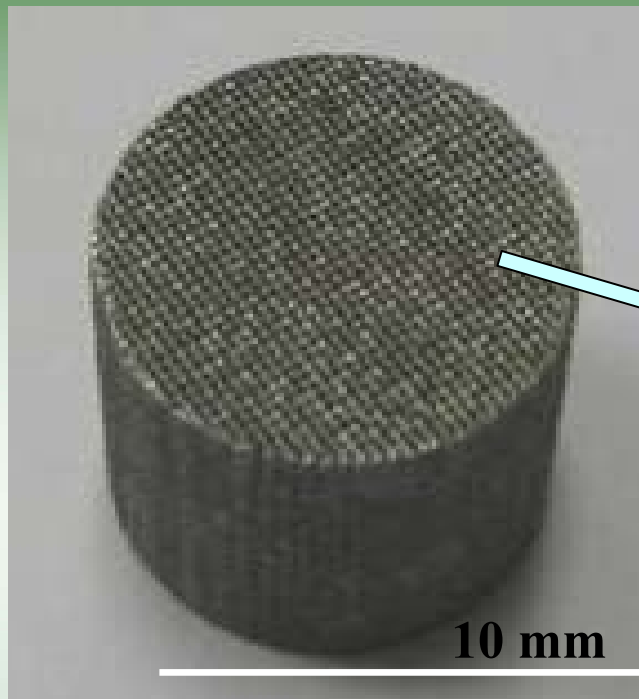
Inox 904L



Лазерная сварка

Drug delivery systems – системы доставки лекарств

Inox 316L



**Фильтрующий элемент с микронными размерами пор каналов
Размер каналов 150 x 150 μm, толщина стенки 120 μm**



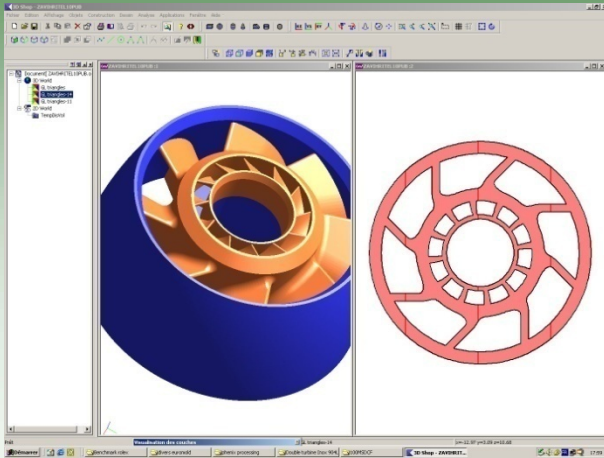
Селективное Лазерное Спекание в Самарском Филиале Физического института им. П. Н. Лебедева РАН.

Основная цель наших исследований – поиск перспективных порошковых материалов для процесса СЛС, исследование оптических, тепловых, электрохимических процессов при синтезе функциональных объемных изделий, а также изучение свойств создаваемых изделий.

Результаты исследований могут быть использованы в медицине (протезирование вживляемыми имплантатами), в нефти – газо - химии (фильтрующие, каталитические элементы), электротехнике (пьезо элементы) а также в автомобильной, авиационной и других отраслях точного машиностроения.

Другими словами, область применения охватывает любую отрасль промышленности, где существуют задачи моделирования и быстрого прототипирования из предлагаемых порошковых материалов: а) фасонных эталон- моделей с заданными свойствами и формой для последующего массового изготовления деталей на их основе; б) функциональных единичных изделий сложной формы с уникальными физическими свойствами.

Факторы взаимовлияния процесса СЛС



Параметры ЛВ

- мощность
- размер пятна ЛИ
- распределение энергии в пятне
- длина волны

Параметры процесса

- скорость сканирования ЛИ
- стратегия сканирования по поверхности
- толщина насыпаемого слоя
- окружающая температура
- защитная атмосфера

Свойства порошка

- состав
- распределение по размерам
- форма частиц

Классификация исследованных нами порошков и направления их применений



Indirect Laser Sintering/Melting
Косвенное лазерное спекание/плавление

ВТСП оксиды
 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ и
 $Ni_{0.35}Zn_{0.65}Fe_2O_4$

Direct Laser Sintering/Melting
Прямое лазерное спекание/плавление

Жидкофазное лазерное спекание инертных порошковых смесей

Полимеры - полиамид, поликарбонат, фторопласт, поливинилденфторид, полиметилакрилат, поливинилхлорид

Металлы - бронза, Fe, Al, Ti, Ni

Керамика - ZrO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 и NiO_2 -катализаторы
Патент РФ № 2188709

Металлополимерные смеси,
Патент РФ № 2145269

Функционально-градиентные порошковые композиции - Фильтрующие элементы
Патент РФ № 2212982

Контролируемое лазером спекание в реакционно-способных порошковых смесях
Патент РФ № 2217265

Синтез ЦТС керамики в системе ZrO_2 - TiO_2 - PbO и керамопласты
Патент РФ № 2214316

Ферромагнетики на основе гексаферрита бария и лития
Патент РФ № 2333076

Синтез интерметаллидов в системах Ni-Ti, Al-Ni, Ti-Al, Fe-Ti, Fe-Al, Fe-Ni
Патент РФ № 2217266

Биоимпланты, гидроксидтитан и материалы с эффектом памяти формы
Патент РФ № 2218242

Синтез керамики в газовой фазе (LCVD) - TiO_2 , TiN, AlN

Направления наших текущих исследований в СФ ФИАН:

1. Синтез объемных интерметаллидных изделий (включая биосовместимые имплантаты) из экзотермических порошковых композиций, определение оптимальных условий синтеза и структурно-фазовые исследования полученных материалов и свойства имплантов;
2. Компьютерный расчет и синтез методом СЛС:
 - Пористых керамик с градиентом электрофизических свойств;
 - Пористых градиентных фильтрующих элементов, в том числе с каталитическими добавками.

Функционально-градиентные фильтрующие элементы

Оптимизированный режим Селективного Лазерного Спекания $P = 9$ Вт, скорость сканирования ЛИ $V = 14,8$ см/с, диаметр пятна ЛИ $d \sim 50$ мкм. Метал – полимерная порошковая композиция: латунь + поликарбонат = 6:1.

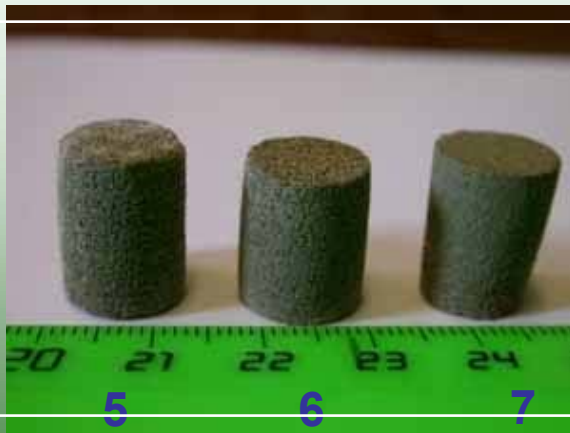


1) - размер фракции 63...100 мкм, высота приращения по слоям $h = 200$ мкм

2) - размер фракции 100...160, высота приращения по слоям $h = 200$ мкм

3) - размер фракции 63...100, высота приращения по слоям $h = 100$ мкм

4) - размер фракции <50 мкм, высота приращения по слоям $h=200$ мкм.



5) - размер фракции 63...100, $h = 200$ мкм, (9 вертикальных цилиндров-каналов, видны как «белесые» пятна на поверхности)

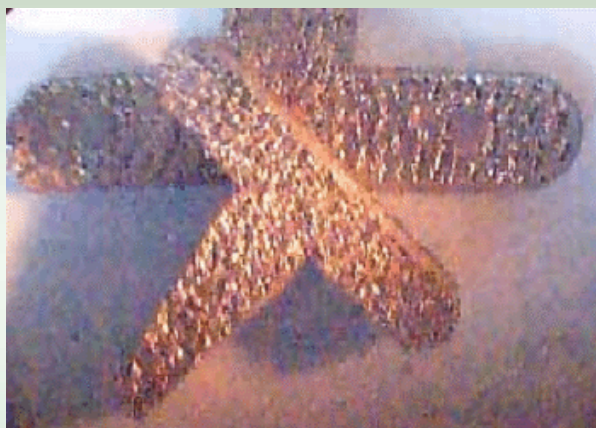
6) - размер фракции 63...100 = const, изменялась – $h = 100, 150, 200, 250, 300$, по 3мм;

7) - изменялся размер фракции $<50, 50...63, 63...100, 100...160$ мкм по 4 мм, $h = 200$ мкм = const.

Биосовместимые пористые имплантаты на основе титана и никелида титана, синтезированные послойно методом СЛС в Самарском филиале ФИАН

Биосовместимый материал – NiTi имеет, в том числе и в пористом состоянии, высокую прочность, коррозионную стойкость, свойство демпфирования, а также, уникальное свойство памяти формы.

Нами была показана возможность синтеза NiTi путем контролируемого совмещения СЛС и СВС процессов в смеси порошков Ni + Ti с добавкой гидроксиапатита.



Пластинки для краниопластики (чистый Ti).



Коренной зуб /di-molar, NiTi/



Послойная 3D наплавка порошка титана на титановый стоматологический штифт

Послойный синтез методом СЛС трехмерных объемных изделий любой наперед заданной формы (био MEMS – биосенсоров, биоэластомеров, биоимплантатов) - позволяет перевести на качественно новый уровень ортопедию, путем создания само срабатывающих, само фиксирующихся, само разворачивающихся протезных элементов при температуре живого организма. При этом пористость является положительным фактором, так как позволяет обеспечить прорастание мягких тканей в имплантат, инфильтровать поры стерилизующими препаратами, способствовать повышению биологической совместимости и активизировать процесс заживления.

Лазерный синтез пористых тканево-клеточных конструкций из нитинола и титана, как репозитарий для стволовых клеток

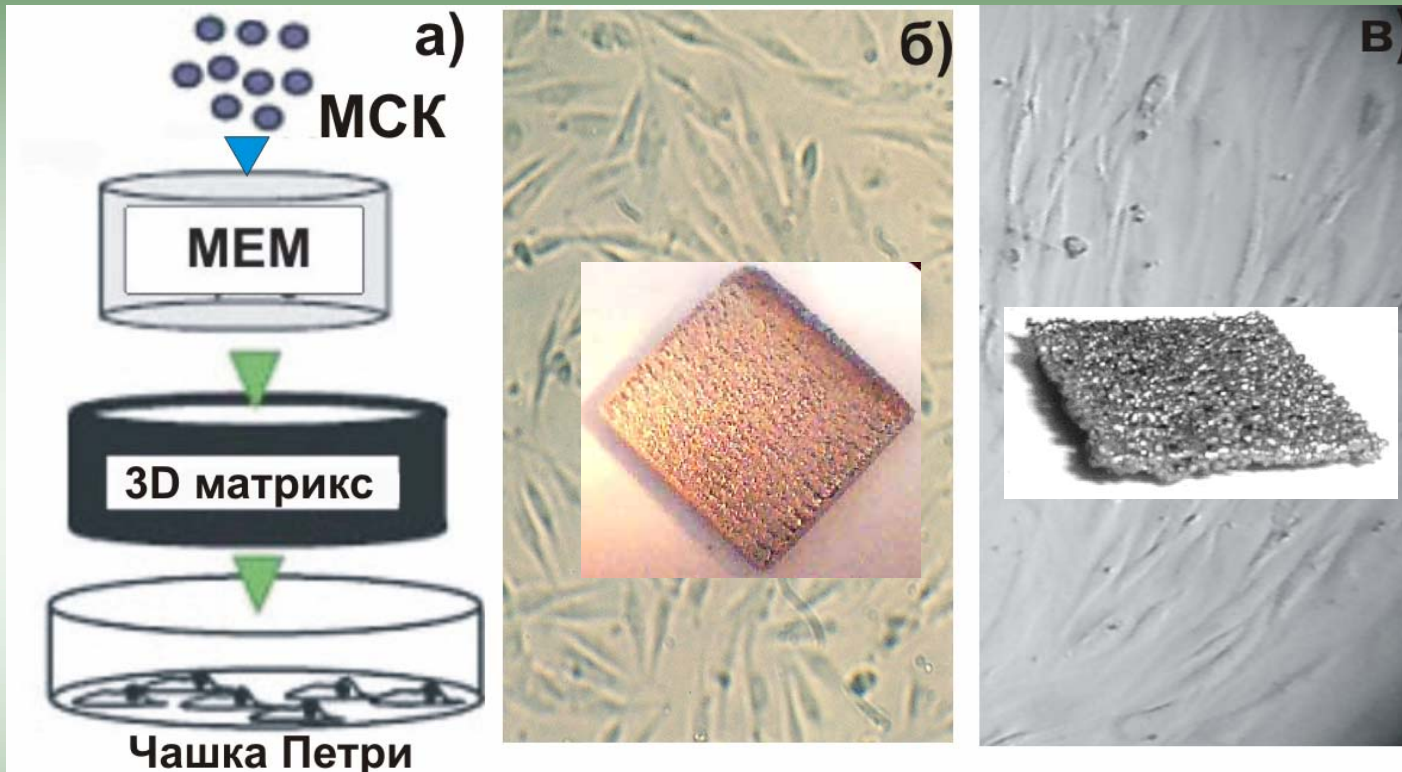


Схема эксперимента (а) и первичная культура клеток эмбриона человека в 3D scaffolds (пористом матриксе); б – мезенхимальные стромальные клетки из крыши черепа; в – дермальные фибробласты. Нативные препараты. Ув. 150.

1988

Верификационные модели

**Подгонка &
Тесты на функциональность**

Литейные модели

**Скоростное
фрезерование**

Функциональные изделия*

**Интеллектуальные изделия
– MEMS** & NEMS**

**Путешествие от
«прототипов» к
производству
функциональных
изделий**

2009



Спасибо за внимание !

Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН,
ул. Ново-Садовая 221, 443011 г. Самара, Россия.
Тел. 7 8462 344220, E-mail: shiv@fian.smr.ru.
<http://www.fian.smr.ru/rp/index-r.htm>