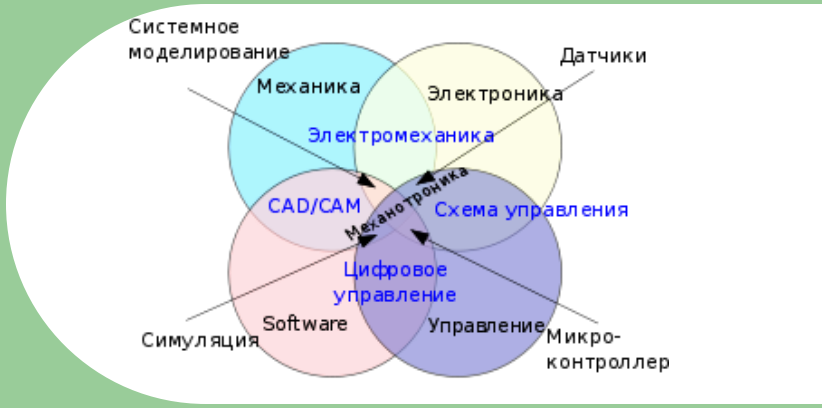
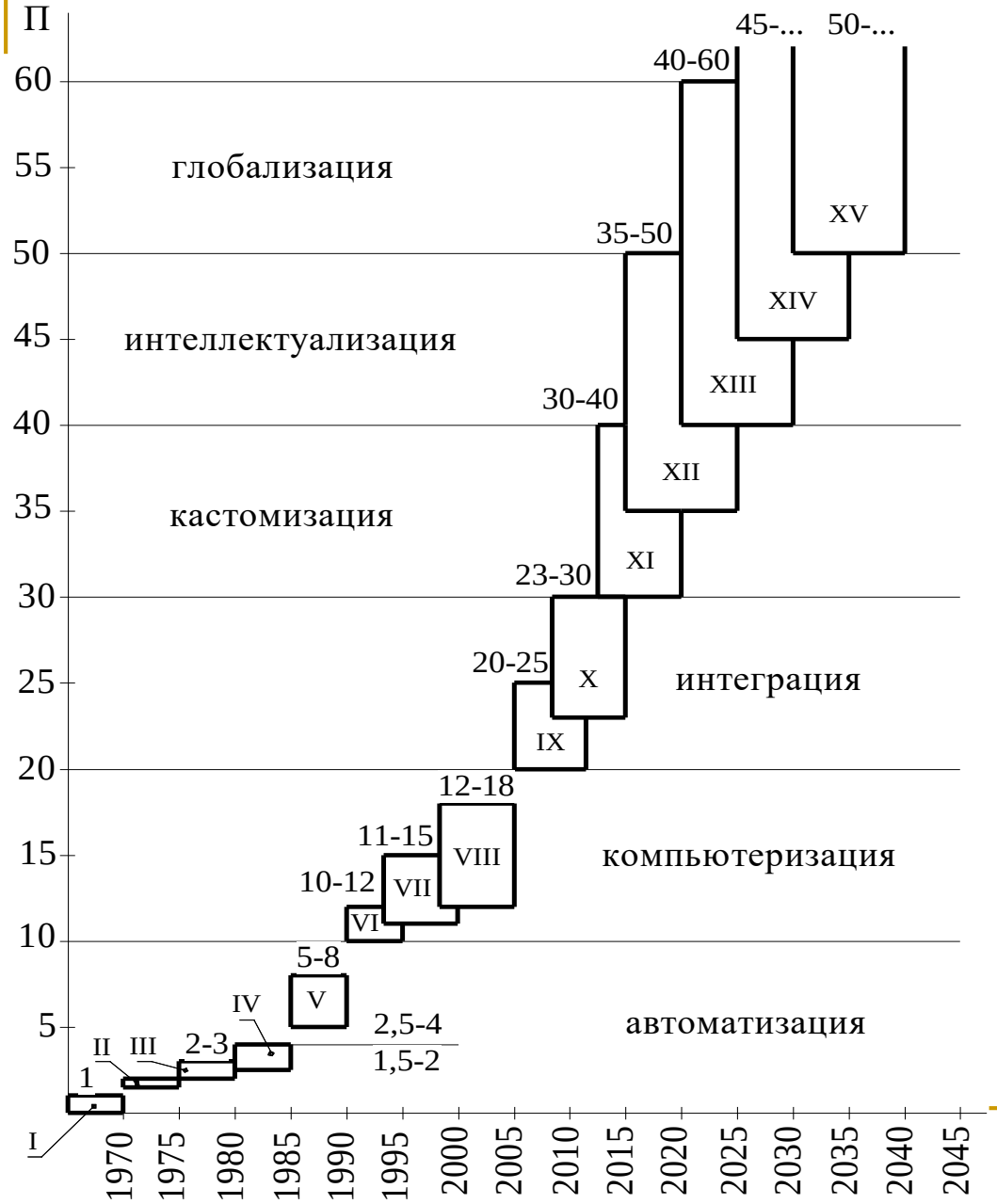


ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ЦИФРОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Хейфец М. Л., Гордиенко А.И., Бородавко В.И., Пынькин А.М., Грецкий Н.Л.

Национальная академия наук Беларуси, Отделение физико-технических наук, ОАО «НПО Центр»

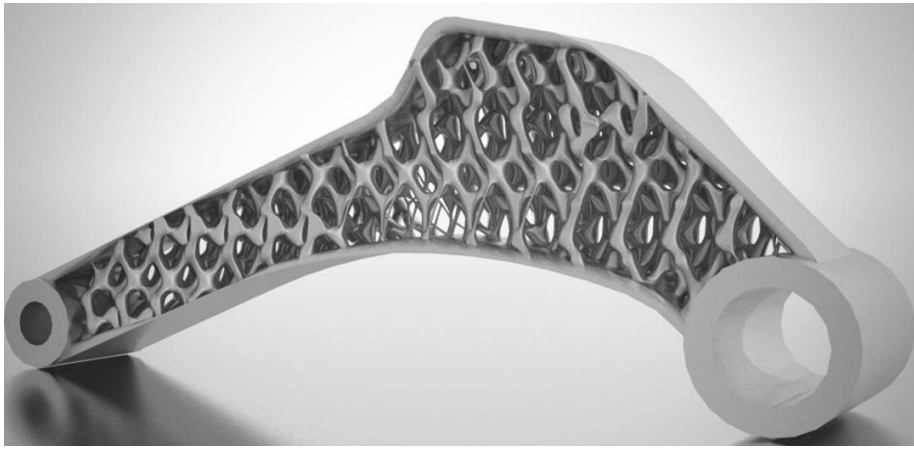
Этапы развития комплексов технологического оборудования

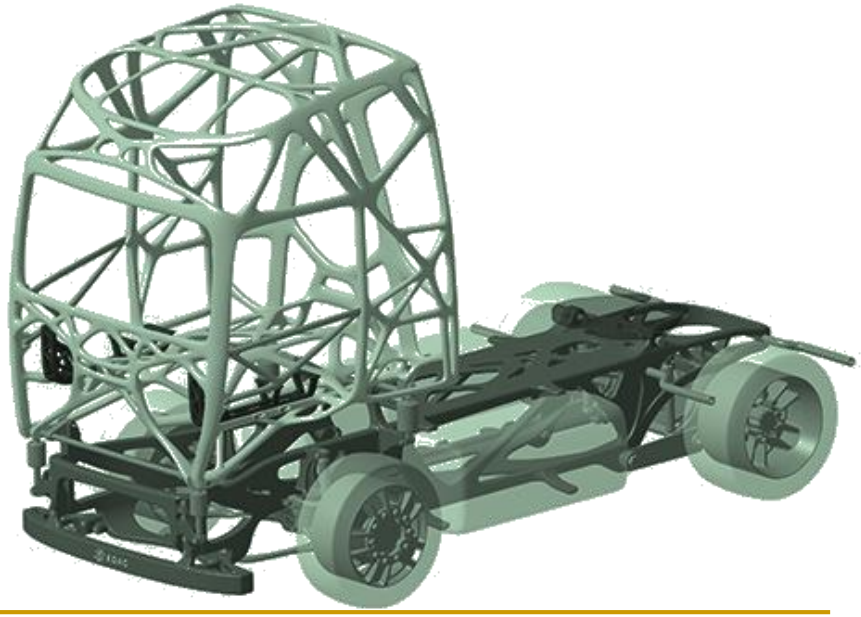


П – производительность оборудования, возрастающая со временем:
I – универсальное оборудование с производительностью, принятой за 1,
II – оборудование с числовым программным управлением,
III – робототехнические комплексы,
IV – обрабатывающие центры,
V – гибкие производственные системы,
VI – компьютерно-управляемое производство,
VII – мехатронные технологические комплексы,
VIII – компактное интеллектуальное производство,
IX – компьютерное сопровождение жизненного цикла изделий,
X – виртуальные предприятия,
XI – аддитивное производство,
XII – интернет вещей,
XIII – машинное обучение,
XIV – искусственный интеллект,
XV – синергия технологий

Новые технологии – новые возможности

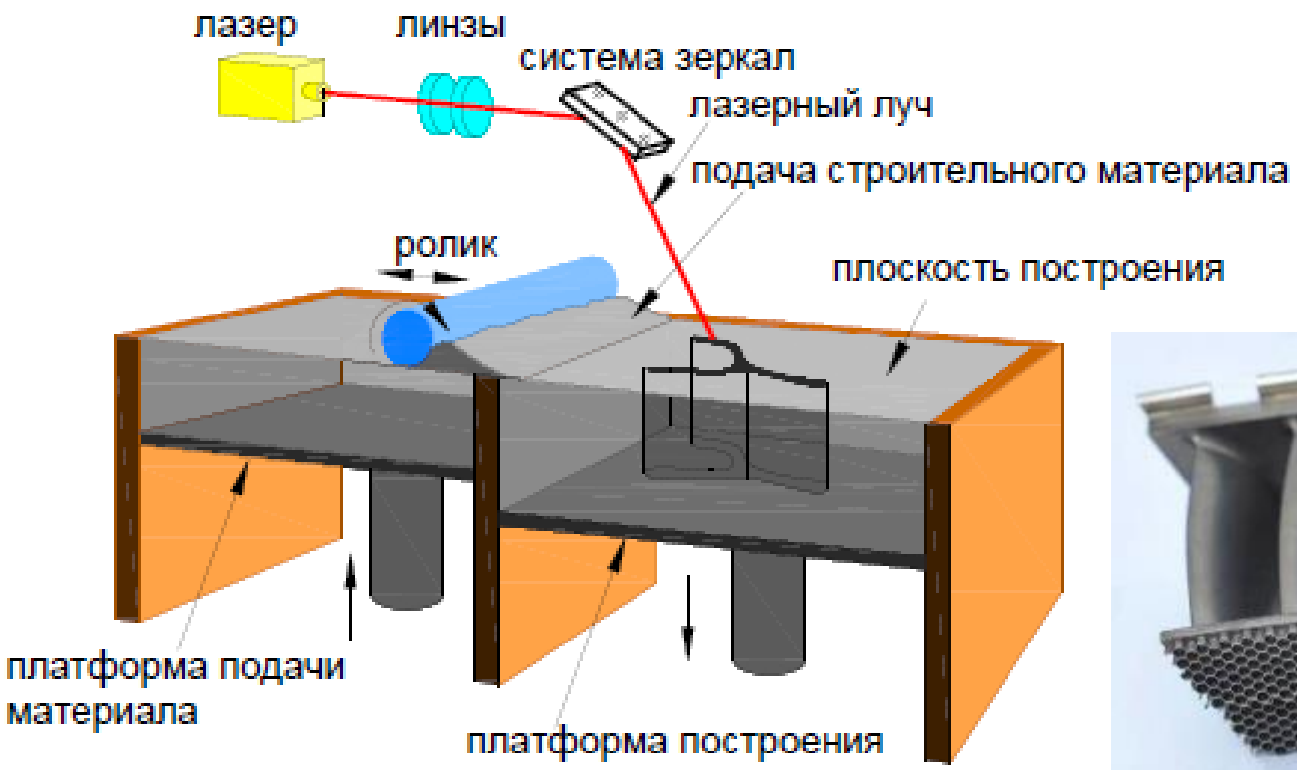
- Примерами успешного решения технологических проблем с использованием бионического дизайна и аддитивных технологий являются новые решения Airbus и Autodesk по снижению веса отдельных элементов гражданских самолетов, новые конструкции Toyota и Materialise для автомобилестроения, продукция холдинга «Вертолёты России», предлагающего детали с бионическим дизайном из алюминия и титана для многоцелевого вертолета, произведённые по аддитивным технологиям методом послойного спекания металлических порошков

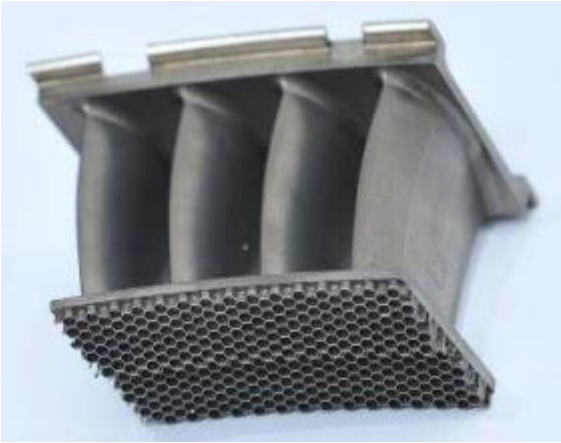




EDAG Engineering GmbH: News-Detailwww.edag.de

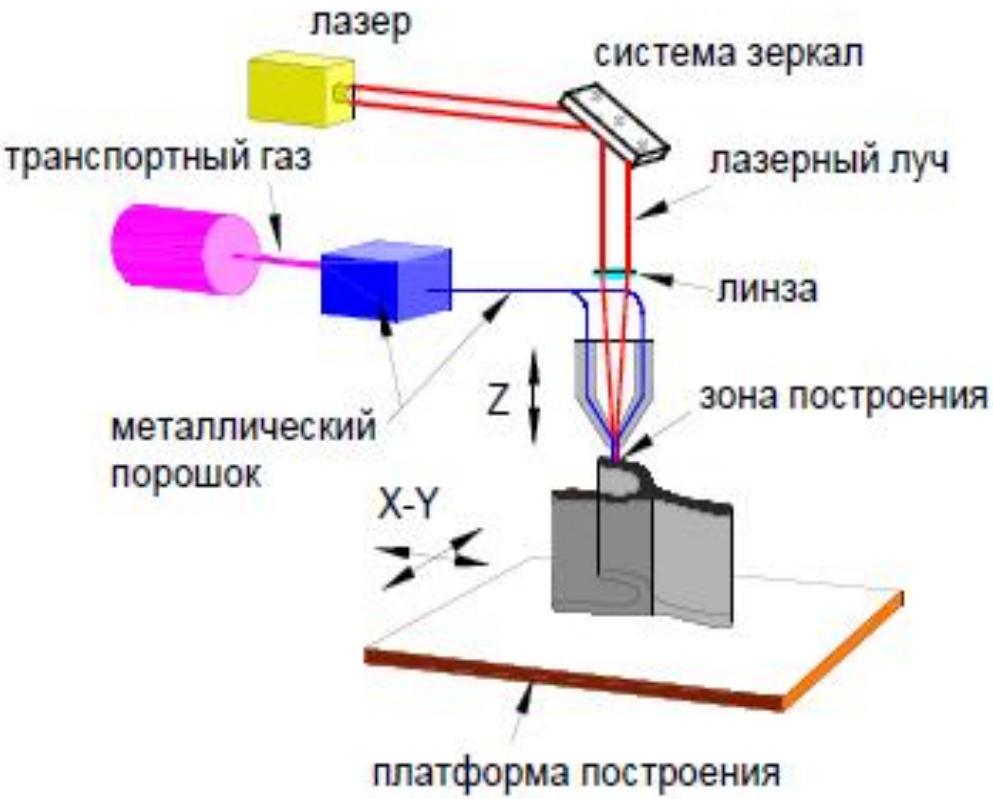
Типовая реализация схемы Bed Deposition

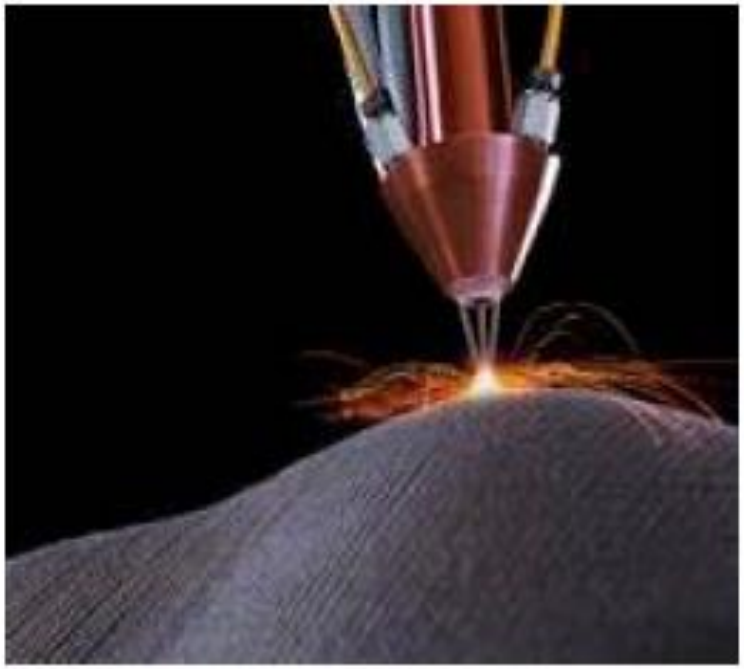




С помощью порошка формируют слой, а затем в этом слое выборочно отверждают «строительный» материал при неизменной плоскости построения, причем часть «строительного» материала остается в созданном слое нетронутой.

Типовая реализация схемы Direct Deposition





(источник www.ipmd.net)

Технологические процессы аддитивного производства

- **Классификация по ISO/ASTM 52900-15**
- **Разработки комитета ASTM (F42.91)**

- 1. ***Vat Photopolymerization*** («фотополимеризация в ёмкости»).
- 2. ***Material Jetting*** («разбрызгивание материала» или «струйные технологии»).
- 3. ***Material Extrusion*** («выдавливание материала»).
- 4. ***Powder Bed Fusion*** («плавление материала в заранее сформированном слое»).
- 5. ***Binder Jetting*** («разбрызгивание связующего вещества»).
- 6. ***Sheet Lamination*** («соединение листовых материалов»).
- 7. ***Directed Energy Deposition*** («прямой подвод энергии непосредственно в место построения»).

Технологии послойного синтеза концентрированными потоками энергии

Анализ сущности и особенностей методов получения деталей машин без формообразующей оснастки:

1) стереолитографией
(Stereolithography Application – SLA) 1984,

2) послойным уплотнением материала
(Solid Ground Curing – SGC) 1987,

- 3) послойной заливкой экструдируемым расплавом
(Fused Deposition Modeling – FDM) 1990,

4) селективным лазерным спеканием
(Selective Laser Sintering – SLS) 1986,

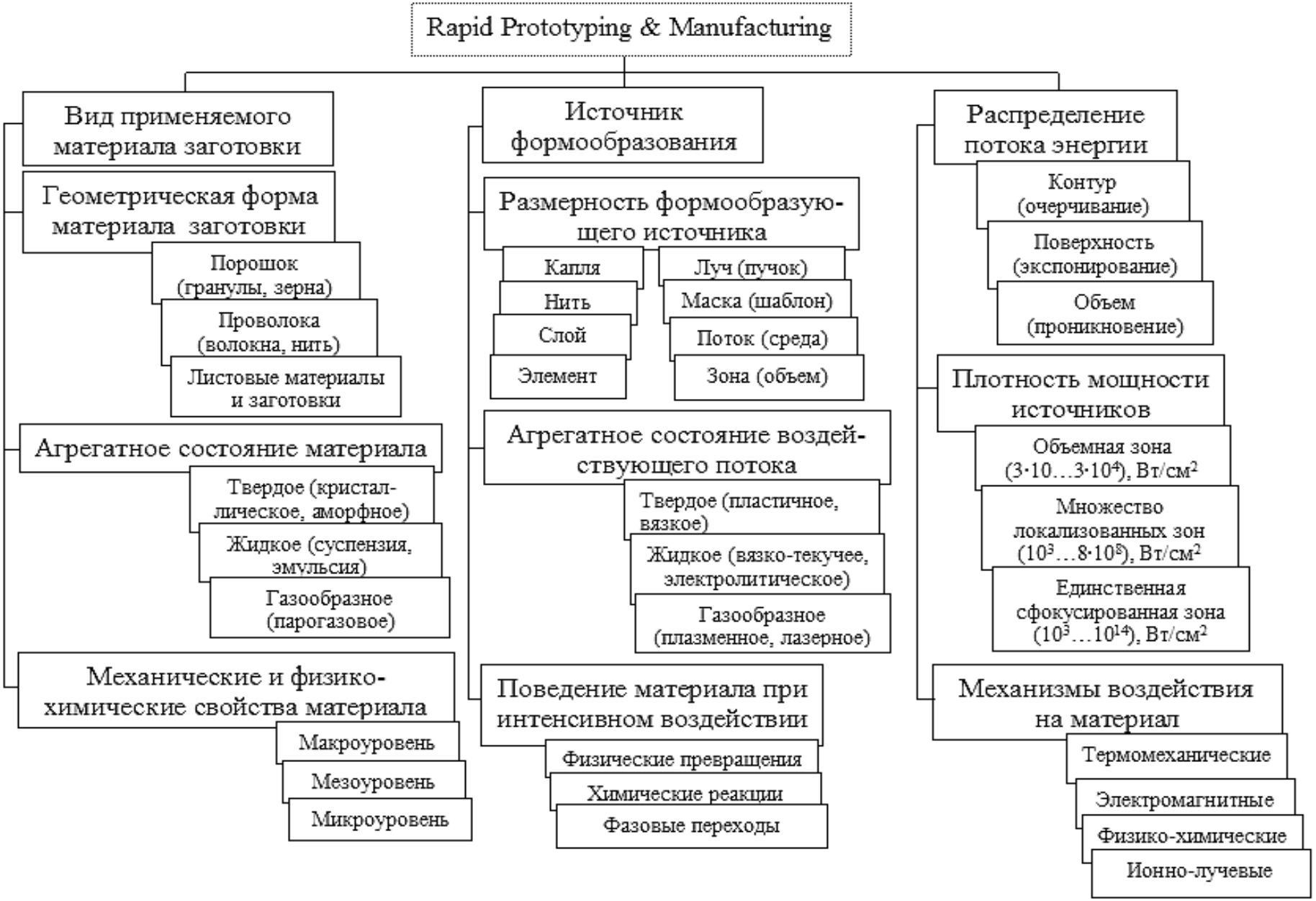
5) непосредственным созданием литейных форм
- ***(Direct Shell Part Creation – DSPC) 1989,***

6) послойным ламинированием из листового материала
(Laminated Object Manufacturing – LOM) 1985,

7) использованием концентрированных потоков энергии

и другими процессами, позволяет рассмотреть частные и выделить общие принципы построения технологий послойного синтеза.

Процессы оперативного макетирования и производства изделий



Основы проектирования и расчета технологического оборудования

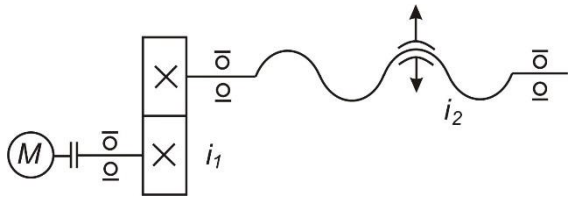
- **Исходные данные проектирования – техническое задание конкретного заказчика**
- 1. *Данные о материалах и готовых изделиях*
- 2. Производительность оборудования, характер и тип производства
- 3. Уровень автоматизации и встраиваимость в современное производство

- **Последовательность расчета технологического оборудования**
- 1. Компоновка (выбор кинематической схемы)
- 2. *Модульное построение* (ограничительный набор агрегатов и узлов)
- 3. Расчеты статических упругих перемещений (выбор схемы и прочностные расчеты)
- 4. Динамические расчеты устойчивости движений системы и статических отклонений элементов (выбор схемы и динамические расчеты)
- 5. Тепловые расчеты (выбор термодинамической схемы и расчет температур)
- 6. Точностные расчеты (определение точности геометрических и кинематических связей с учетом деформации)
- 7. Расчеты надежности (определение надежности агрегатов и узлов, экономическое обоснование надежности)
- 8. *Анализ человеко-машинной системы* (охрана труда и техника безопасности)

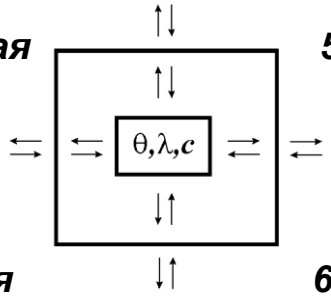
- **Расчет основных систем технологического оборудования:**
- 1. Несущих систем. 2. Направляющих движений. 3. Приводов движений.

Проектирование и расчет основных систем технологического оборудования

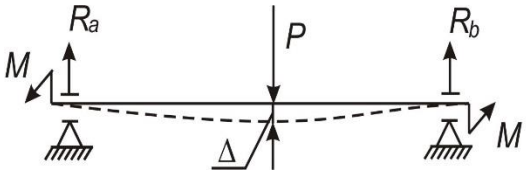
Производится по техническим требованиям к механическим агрегатам, технологической оснастке и средствам автоматизации; системам смазки, электрооборудованию и программируемым системам; системам диагностики, с учетом техники безопасности, эргономики и технологичности станка.

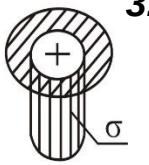


1. Кинематическая



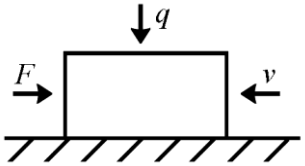
5. Термодинамическая



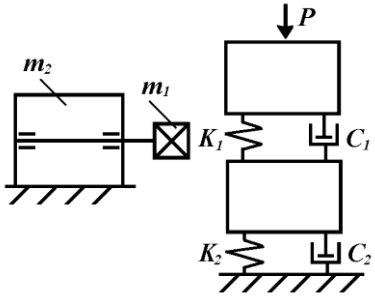


3. Прочностная

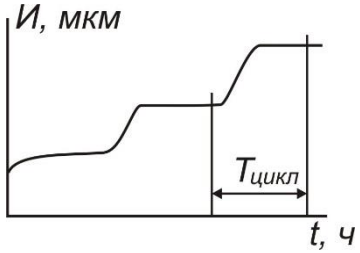
6. Контакта и трения



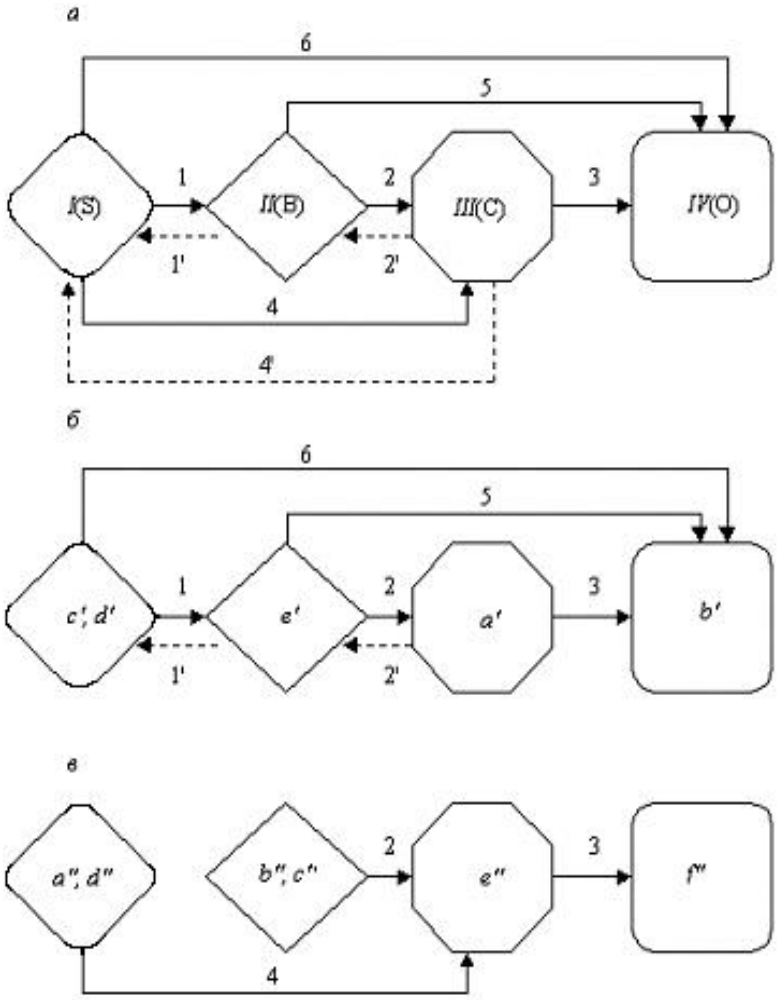
4. Динамическая

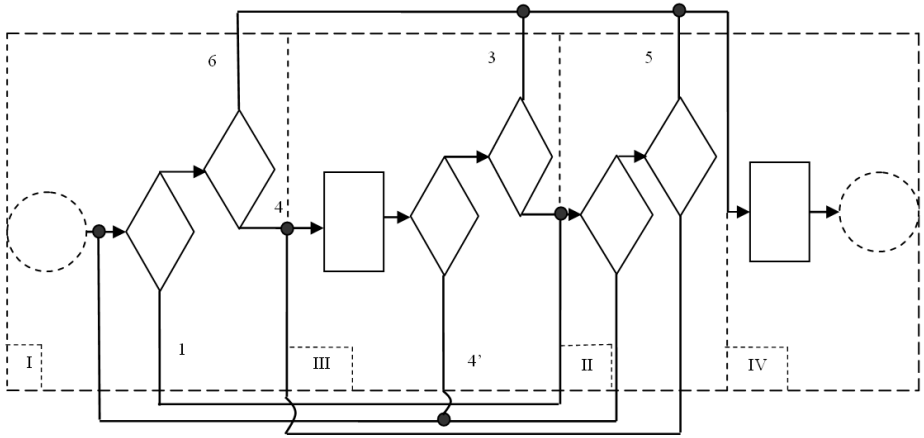


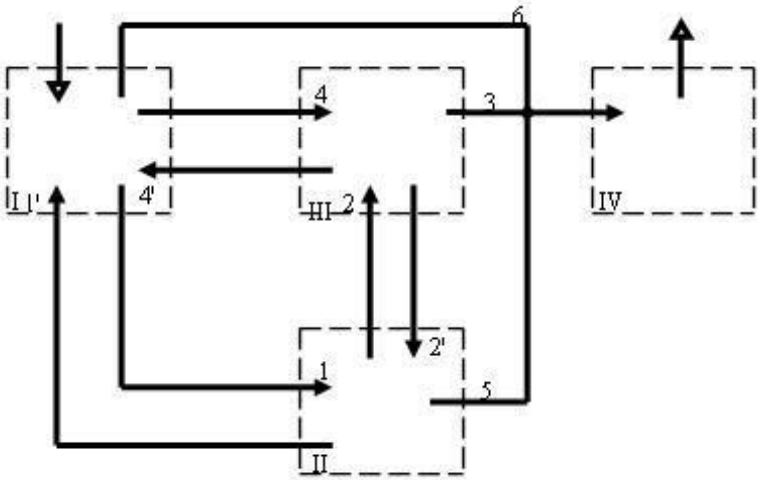
7. Изнашивания и надежности



Аддитивное производство и технологии послойного синтеза







Конечные автоматы Эдварда Ф. Мура. Диаграмма связей. Модель самовоспроизведения Джона фон Неймана. Клеточные машины. Точечные ткани М.Л. Цетлина. Мозаичные структуры. Конфигурации «райский сад» Джона У. Тьюки. Образование полостей.

Критерии переноса в процессах термомеханической и электрофизической обработки

$$(\mathrm{Re}\,In) \qquad (\mathrm{Re}\,In)$$

$$\mathrm{Pe}\left(\frac{1}{\mathrm{Pr}}\right) \Rightarrow \mathrm{Re}(\mathrm{Pr}\,Ds) \Rightarrow \mathrm{Mr}\left(\frac{\mathrm{Re}}{\mathrm{Pr}}\right)\cdot\left(\frac{In}{Ds}\right) \Rightarrow \mathrm{Gr}(\mathrm{Pr}) \Rightarrow \mathrm{Rl}$$

$$(Ds) \qquad \left(\mathrm{Re}\,\frac{In}{Ds}\right)$$

$$In = \beta g \nabla T \frac{t^2}{\upsilon^2}$$ - отношение подъемной силы плавучести к инерционной силе

$$Ds = \sigma_k \nabla T \frac{t}{\left(\frac{\upsilon\rho}{\nu}\right)}$$ - отношение сил капиллярности и вязкости

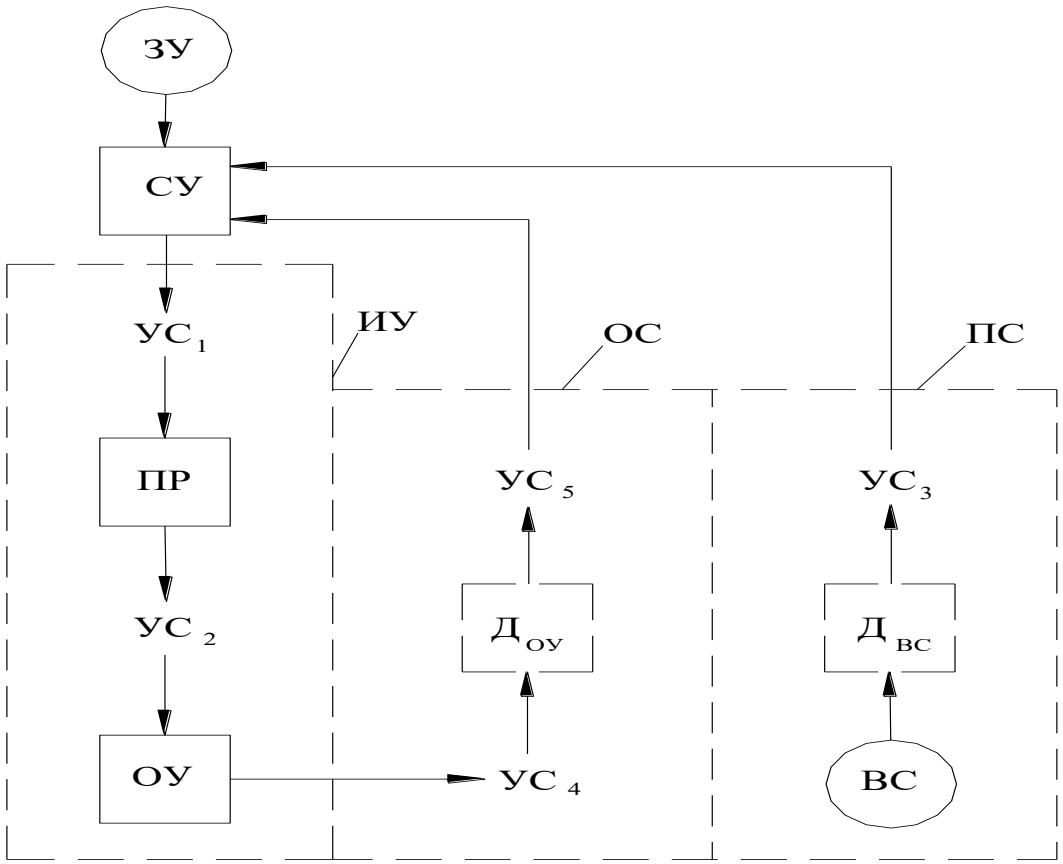
$$Sm\left(\frac{Em}{Se}\right) \Rightarrow Si \qquad \mathrm{Mr}(Ek) \Rightarrow E\left(\frac{Tk}{Ek}\right) \Rightarrow \mathrm{Rl}$$

$$Em = \frac{\upsilon E_1}{(H'B)}$$ - отношение скорости потока к его теплосодержанию и напряженности электрического поля к его магнитной индукции

$$Ek = \frac{\varepsilon\gamma^2 \nabla T}{\sigma_k}$$ - отношение термоэлектрической и капиллярной сил

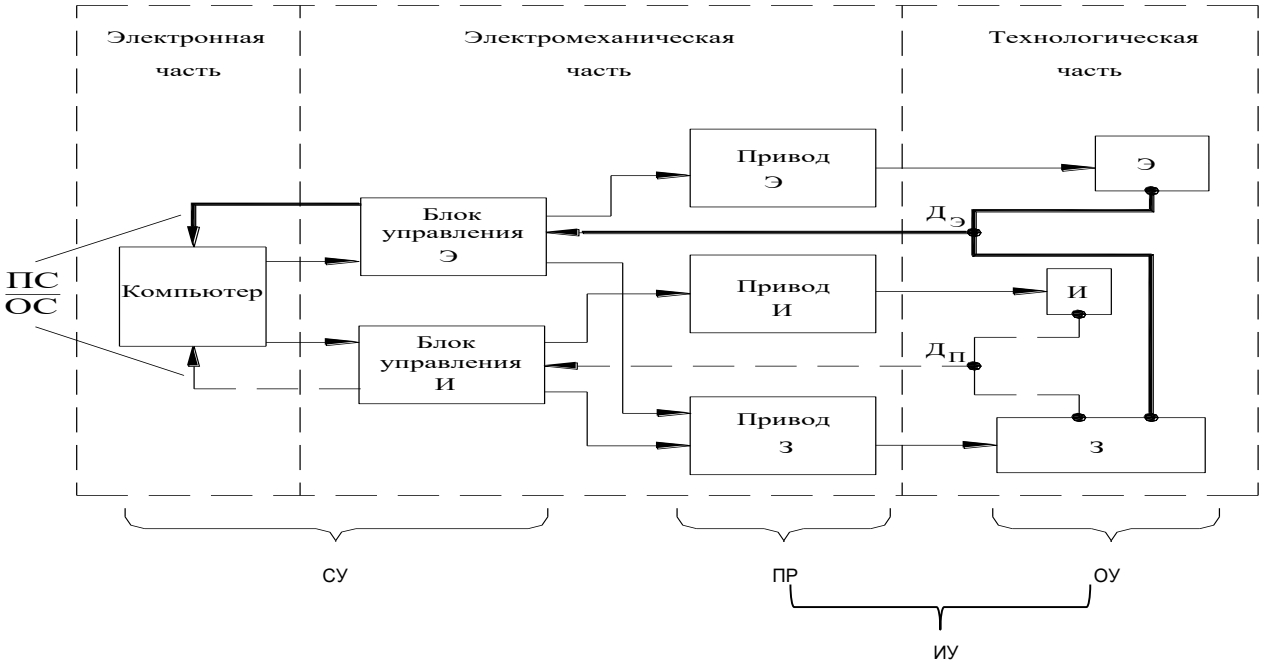
$$Tk = \frac{\rho\beta g t^2}{\sigma_k}$$ - отношение подъемной силы плавучести к капиллярной силе

Принципиальная схема мехатронной системы



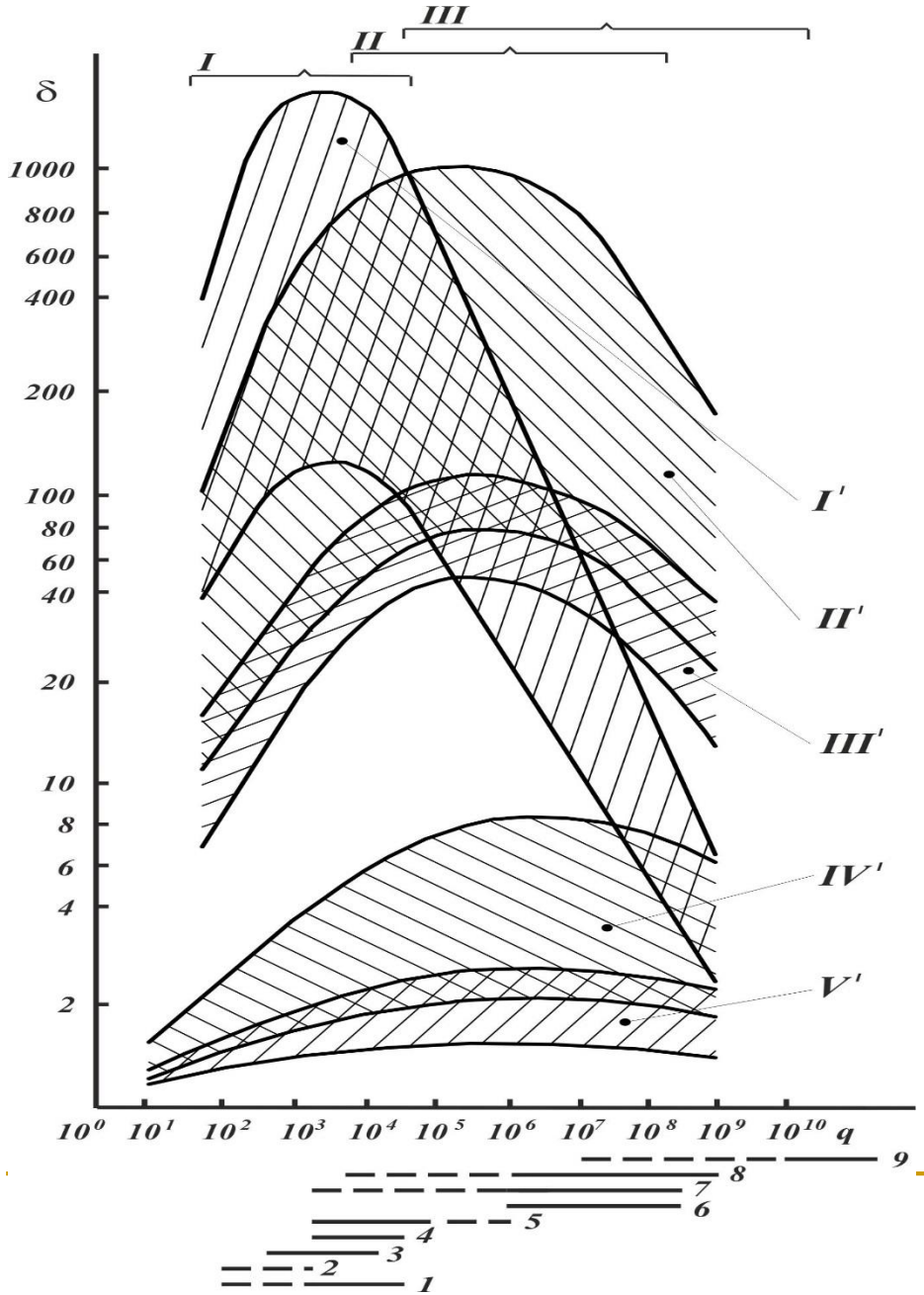
ИУ – исполнительные устройства; ОС – обратная связь; ПС – прямая связь;
ЗУ – задание на управление; СУ – система управления; УС – устройство сопряжения;
ПР – приводы; ОУ – объект управления; ДОУ – датчики состояния объекта управления;
ДВС – датчики состояния внешней среды; ВС – внешняя среда

Структурная схема мехатронного технологического комплекса



З – заготовка; И – инструмент; Э – концентрированный поток энергии;
Дп – датчик перемещений; Дэ – датчик интенсивности потока энергии;
СУ – система управления; ПР – приводы; ОУ – объект управления;
ИУ – исполнительные устройства; ПС – прямая связь; ОС – обратная связь

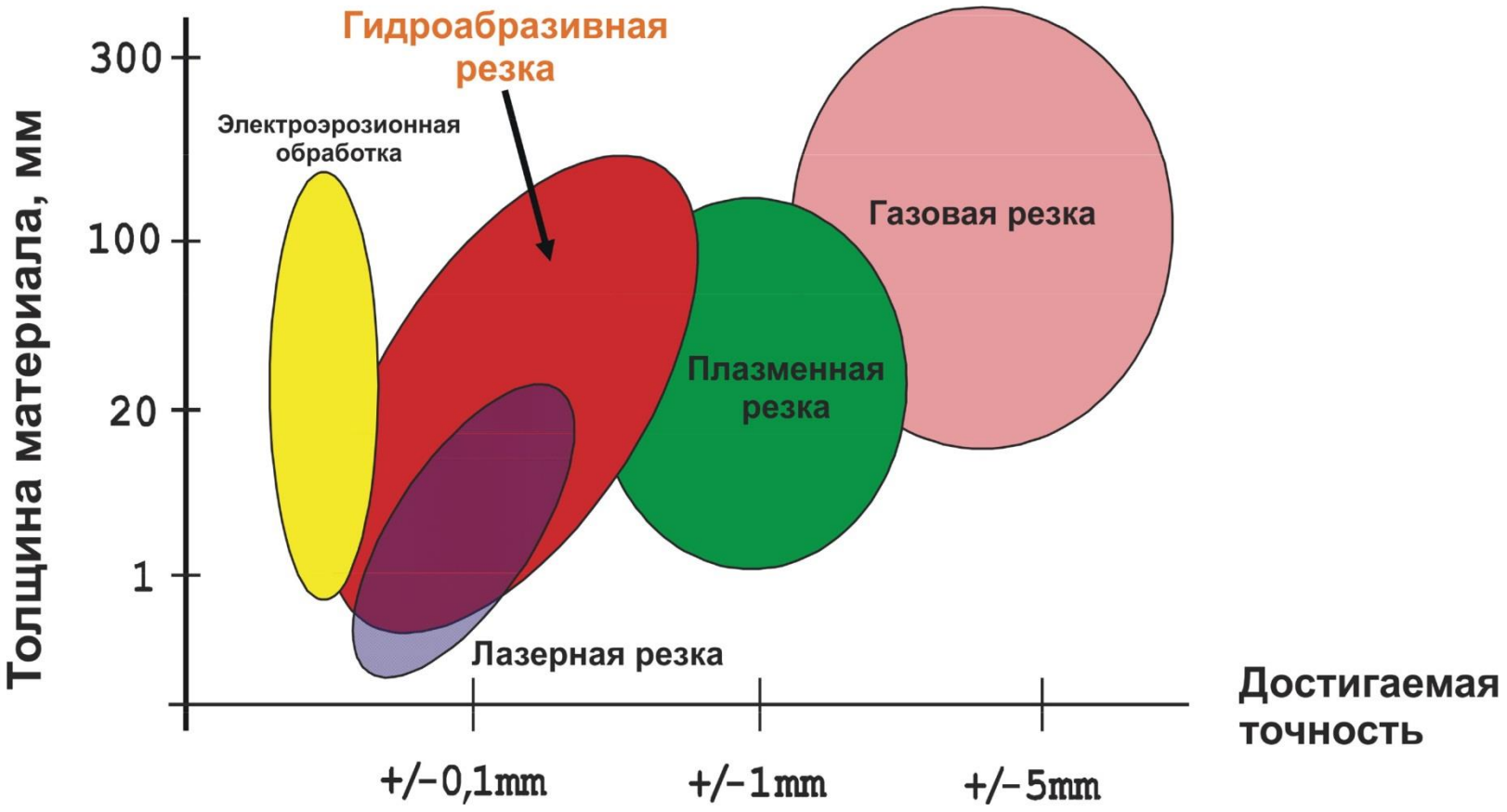
Концентрированные потоки энергии в процессах обработки



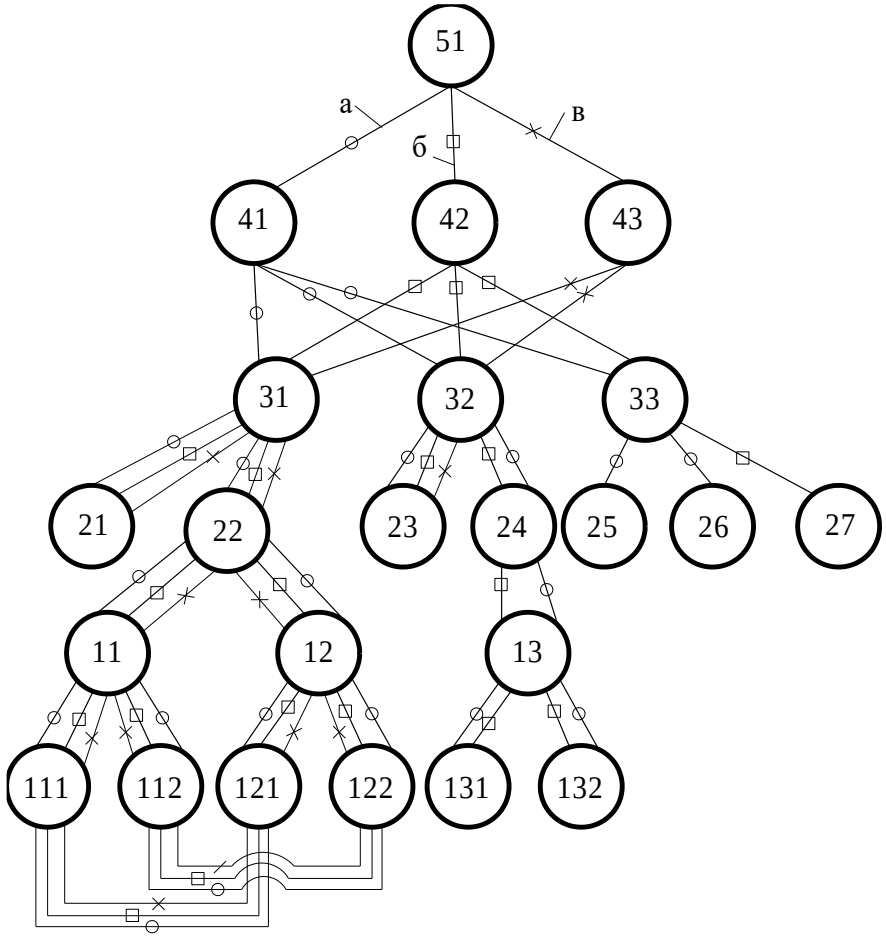
Распределение методов обработки (I'-V') по точности формирования поверхностей в зависимости от уровня (I-III) концентрации энергии источников:

1 – индукционный нагрев;
2 – газовое пламя;
3 – плазменная дуга;
4 – электроконтактный подогрев;
5 – сварочная дуга;
6 – искровой разряд;
7 – электронный, ионный луч;
8 – непрерывный лазер;
9 – импульсно-периодический лазер

Использование концентрированных потоков энергии в раскройном оборудовании



Графы кортежей комплекса для резки листового материала

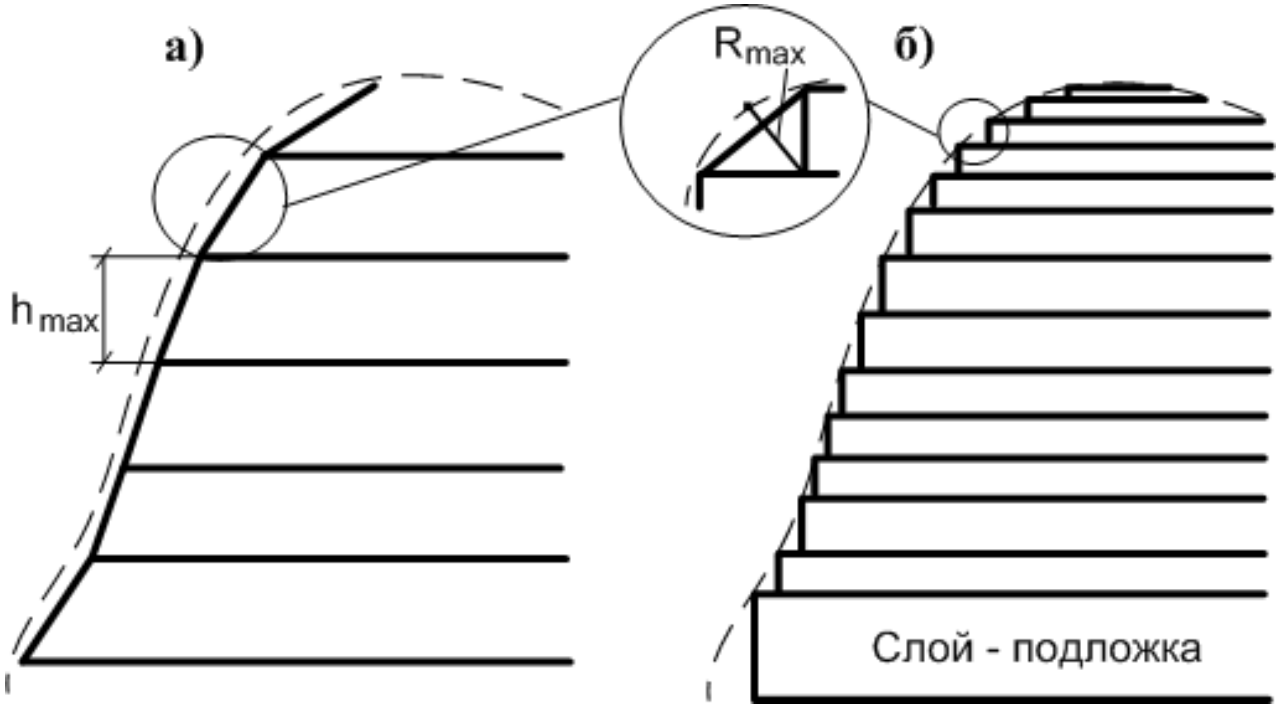


а – плазменный раскрой материала,
б – гидроабразивная резка,
в – лазерная резка
41 – технологический модуль плазменного раскроя материала,
42 – технологический модуль гидроабразивной резки,
43- технологический модуль лазерной резки листового материала,
31 – рабочая функциональная система,
32 – вспомогательная функциональная система,
33 – обслуживающая функциональная система,
21 – система создания потока концентрированной энергии,
22 – система перемещения режущего рабочего органа,
11 – главное движение манипулятора
(111 – поступательное, 112 – вращательное),
12 – главное движение режущей головки
(121 – поступательное, 122 – вращательное)
23 – устройство автоматической загрузки листов,
24 – дополнительное оборудование механической обработки,
13 – главное движение инструмента
(131 – поступательное, 132 – вращательное),
25 – фильтровентиляционная установка,
26 – компрессор с осушителем,
27 – система фильтрации отработанной воды.

Пятикоординатный манипулятор для резки под углом криволинейных поверхностей

Технологический комплекс плазменного раскроя материала с манипулятором для резки и разделки кромок под углом

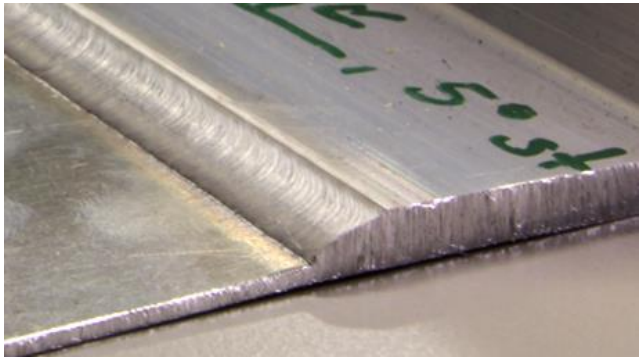
Схема разбиения изделия на слои

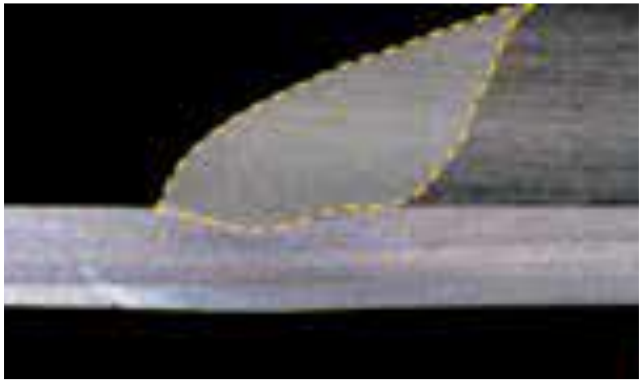


а – для LOM;

б – для SLS-процессов

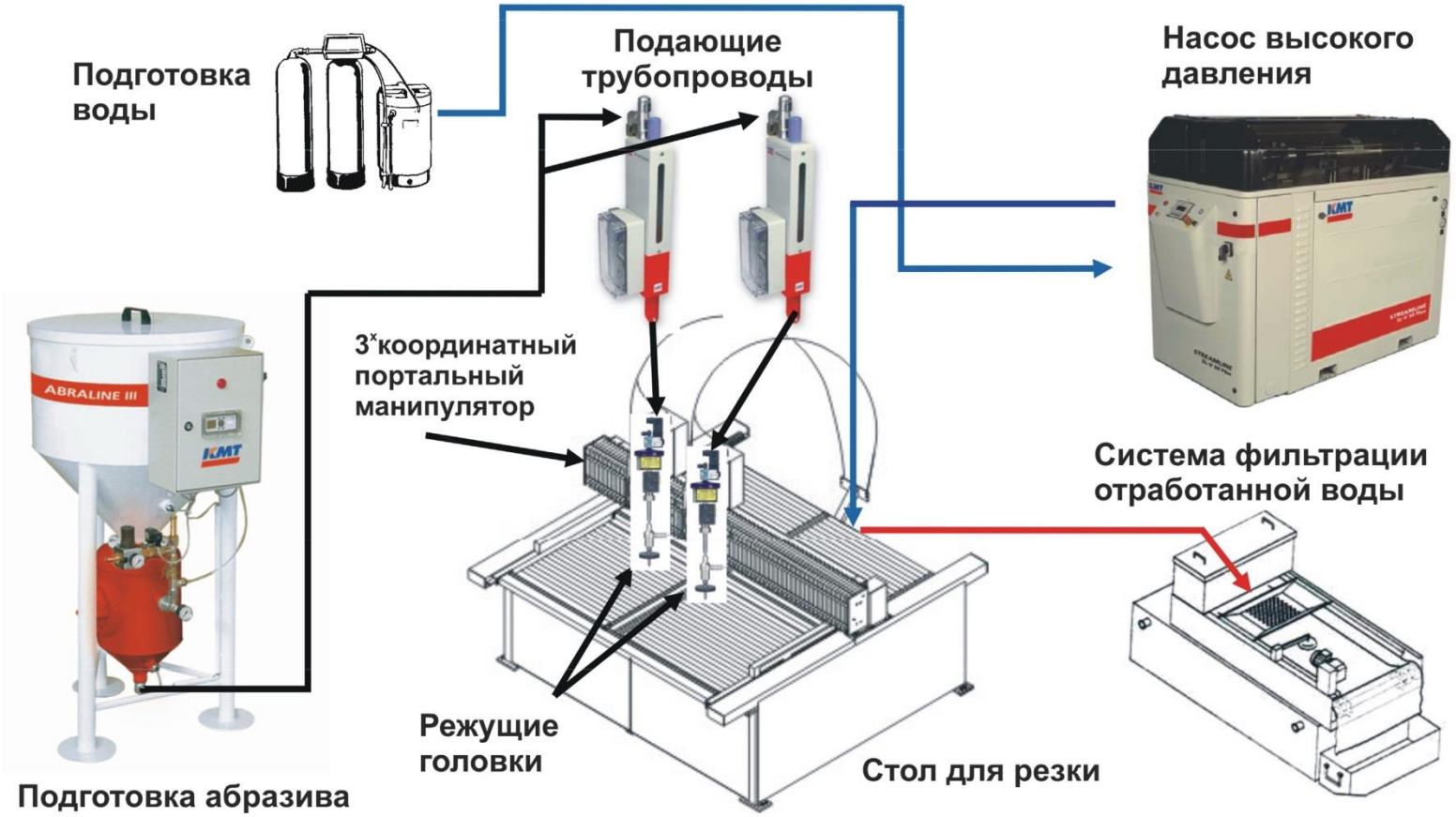
Оборудование для плазменной сварки





а - сварочная головка Kjellberg; б - послойная сварка изделия и сечение сварочного шва (с сайта www.kjellberg.de)

Структурная схема технологического комплекса гидроабразивной резки



Технологический комплекс гидроабразивной резки

Применение поворотной системы при гидроабразивной резке

National Academy of Sciences of Belarus

was founded
in 1928

Спасибо за внимание!