

# ДЛА: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

Лахин Антон Владиславович,  
к.т.н., доцент,  
начальник отдела разработки УУКМ,  
АО «Композит», г. Королев

# Новые материалы

```
graph TD; A[Новые материалы] --> B[Принципиально новые материалы]; A --> C[Модернизированные материалы]; B --> D[Принципиальное изменение конструкции]; B --> E[К принципиально новым материалам для ЖРД и АД относят НМКМ]; C --> F[Незначительное изменение конструкции];
```

**Принципиально новые материалы**

**Принципиальное изменение конструкции**

**Модернизированные материалы**

**Незначительное изменение конструкции**

**К принципиально новым материалам для ЖРД и АД относят НМКМ**

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
(НМКМ) В ДВИГАТЕЛЯХ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

# ПЛАН ЛЕКЦИИ

- 1. Классификация двигателей летательных аппаратов (ДЛА)**
- 2. Неметаллические композиционные материалы (НМКМ). Компоненты и материалы, применяемые в НМКМ**
- 3. Технологии КМ применительно к деталям и узлам ДЛА**

# ПЛАН ЛЕКЦИИ

**1. Классификация двигателей летательных аппаратов (ДЛА)**

**2. Неметаллические композиционные материалы (НМКМ). Компоненты и материалы, применяемые в НМКМ**

**3. Технологии КМ применительно к деталям и узлам ДЛА**

# **ЛА, оснащаемые двигательными энергетическими установками**

- 1. Авиационная техника**
- 2. Ракетно-космическая техника:**
  - ракеты носители**
  - космические аппараты**
- 3. Боевая ракетная техника:**
  - РКСН**
  - тактическое ракетное вооружение (ТРВ)**

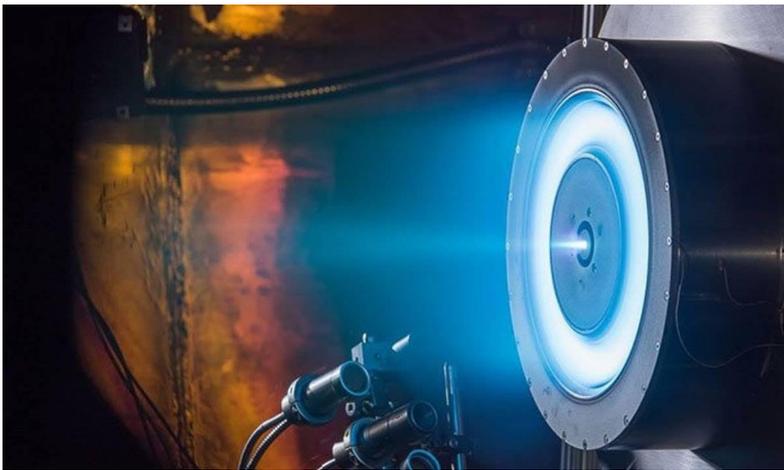
# Основные классы ДЛА



**ВРД**



**РДТТ**



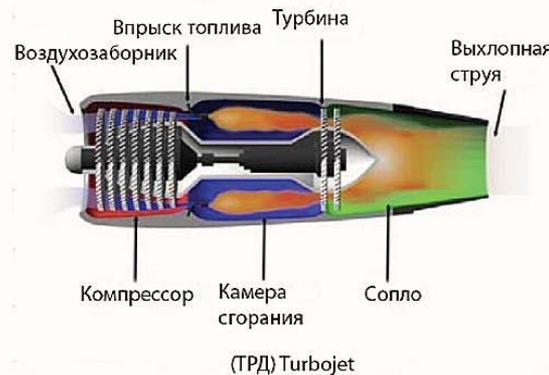
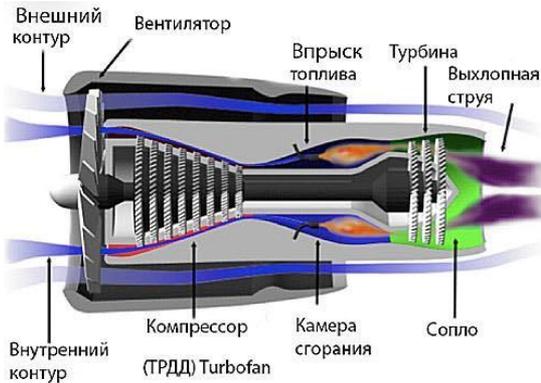
**ЭРД и ЯРД**



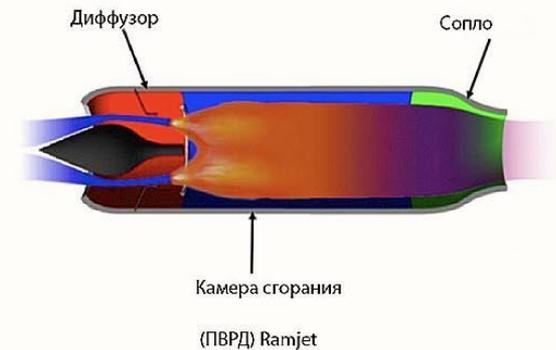
**ЖРД**

# Воздушно-реактивные двигатели (ВРД), их виды и применение

## Газотурбинные ВРД

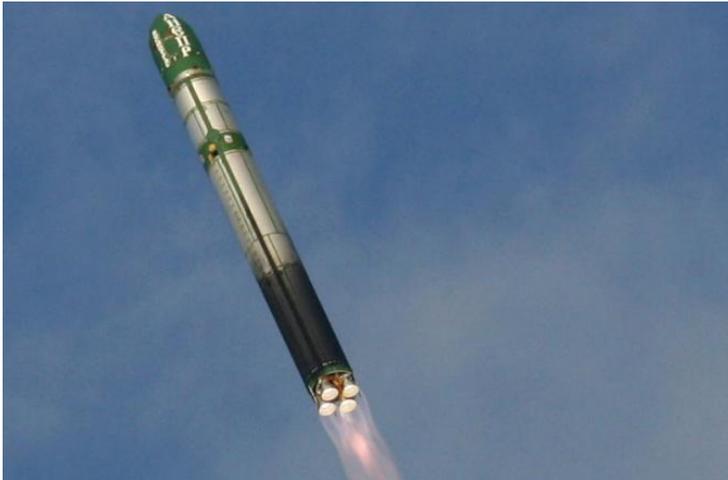


## Прямоточные ВРД



# Применение жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) в ЛА

Маршевые  
ЖРД



Ракеты-носители  
(гражданские и боевые)

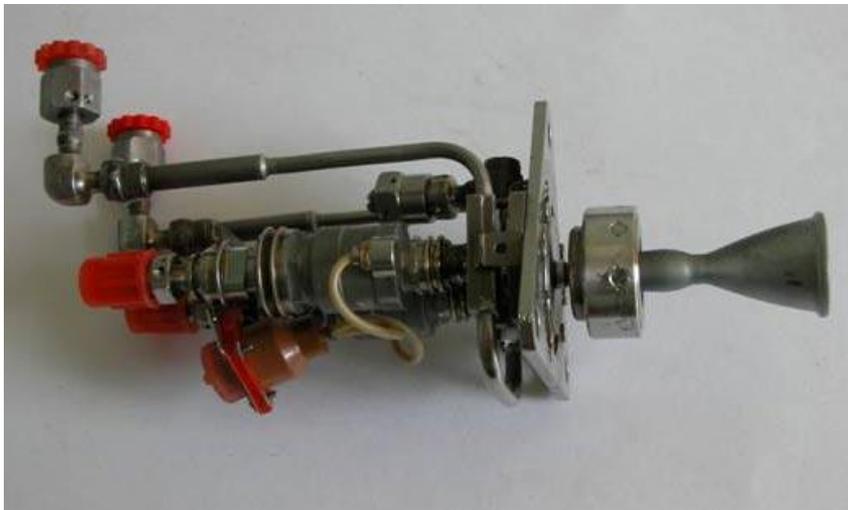
# Применение жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) в ЛА



**ЖРД малой тяги  
(МТ)**



**Двигатели  
орбитального  
маневрирования  
КА**



# Применение твердотопливных ракетных двигателей (РДТТ)



**ТРВ и РСЗО**



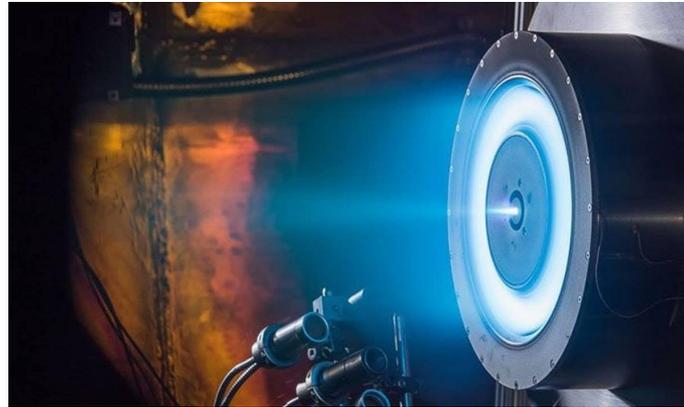
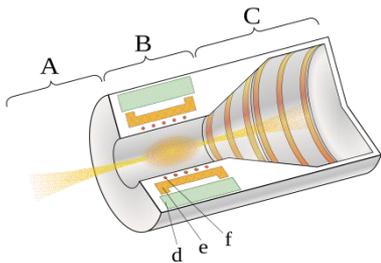
**РКСН и РН**

**ПТДУ, САС,  
АСО**

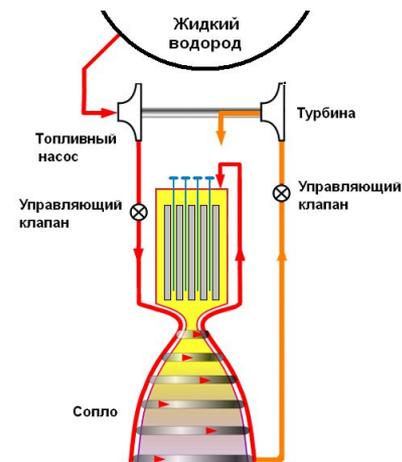
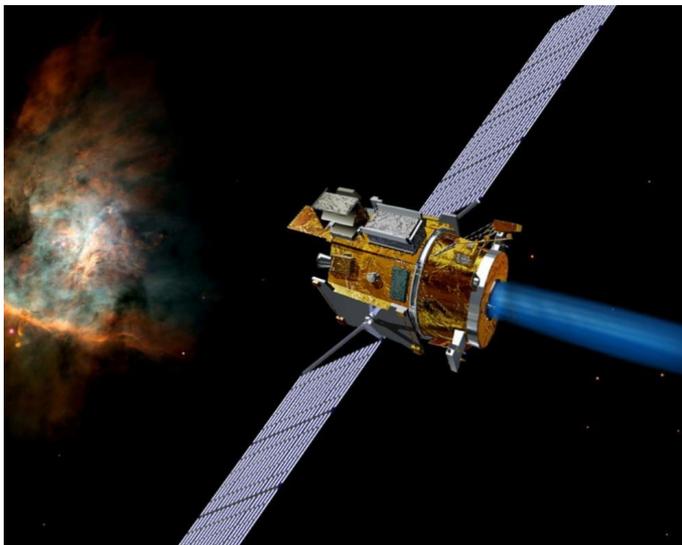


# Применение ЭРД и ЯРД в КА

ЭРД



двигатели КА



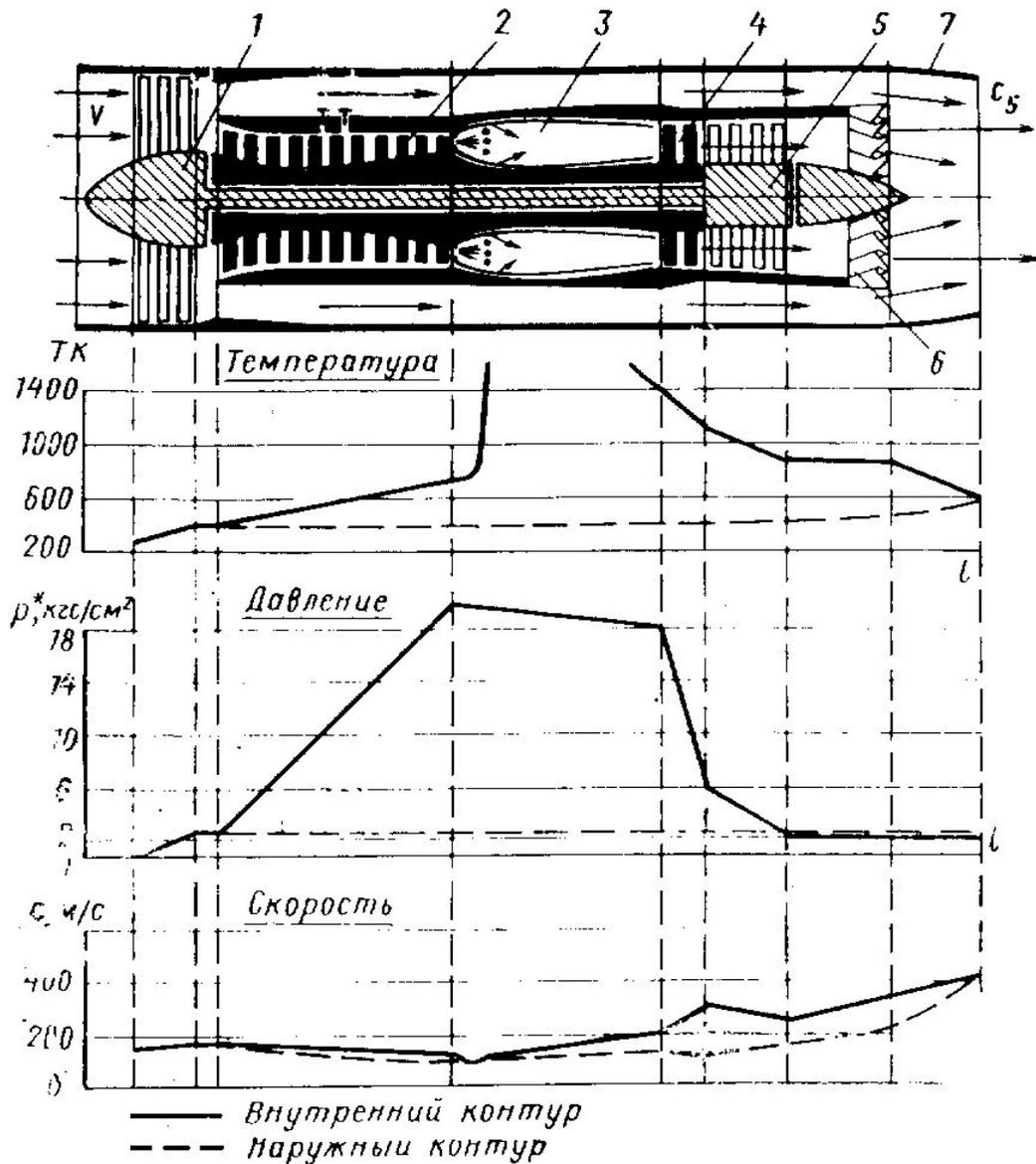
ЯРД

# Цели применения НМКМ в ДЛА

- 1. Повышение ТТХ**
- 2. Снижение веса конструкции**
- 3. Повышение экологичности**
- 4. Повышение экономичности**
- 5. Снижение шумности**

# Распределение температур в ГТД

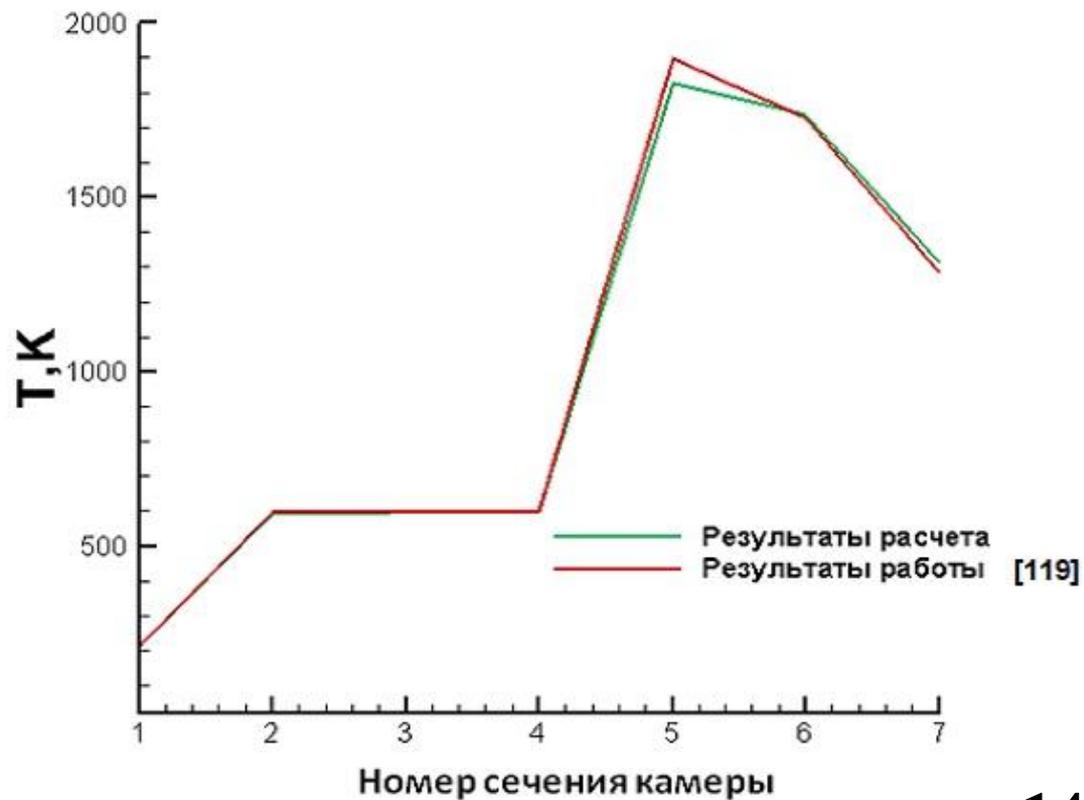
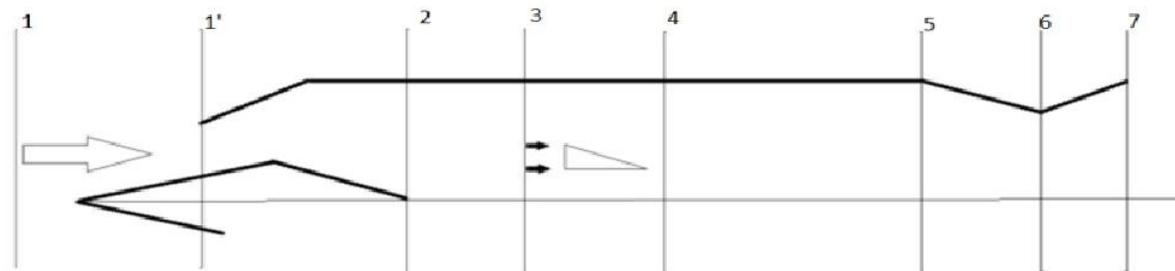
ВРД (ГТД)



# Распределение температур в ПВРД



КР С ПВРД

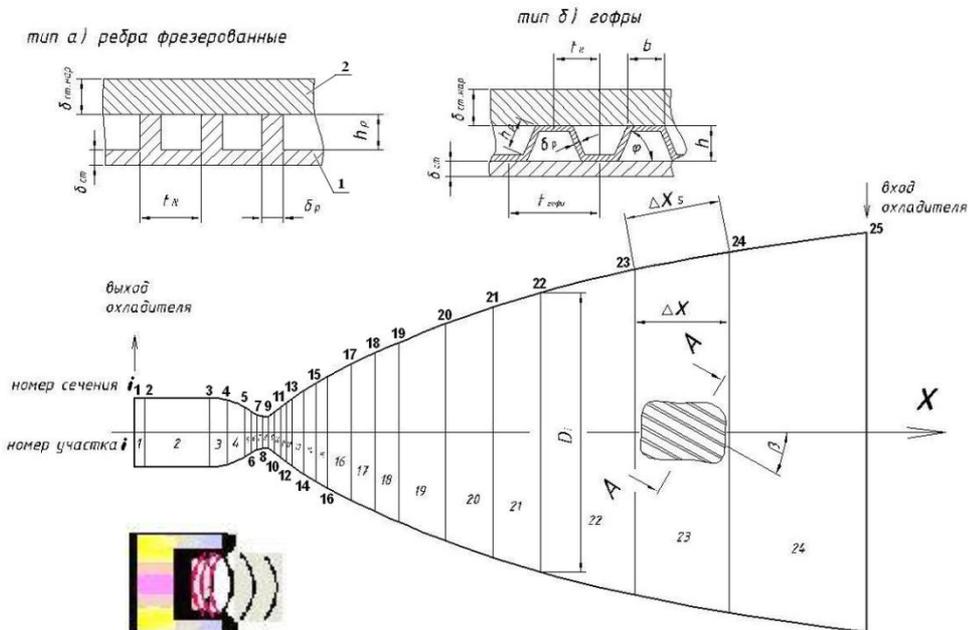


# Распределение температур в ЖРД



ЖРД

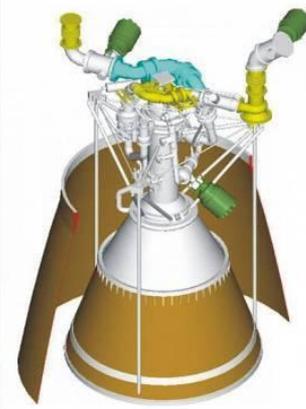
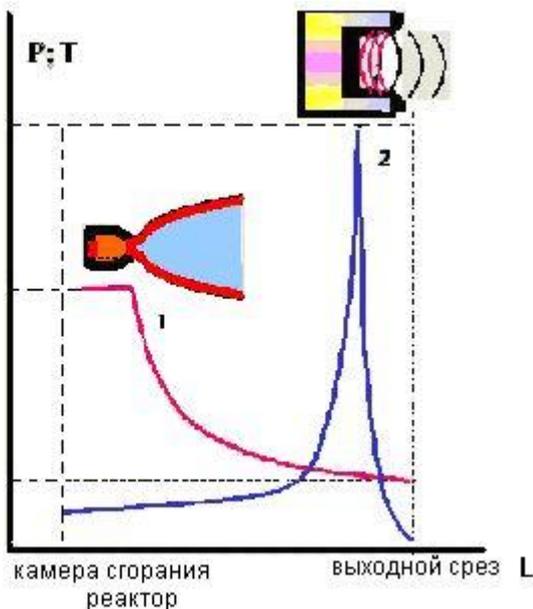
A-A



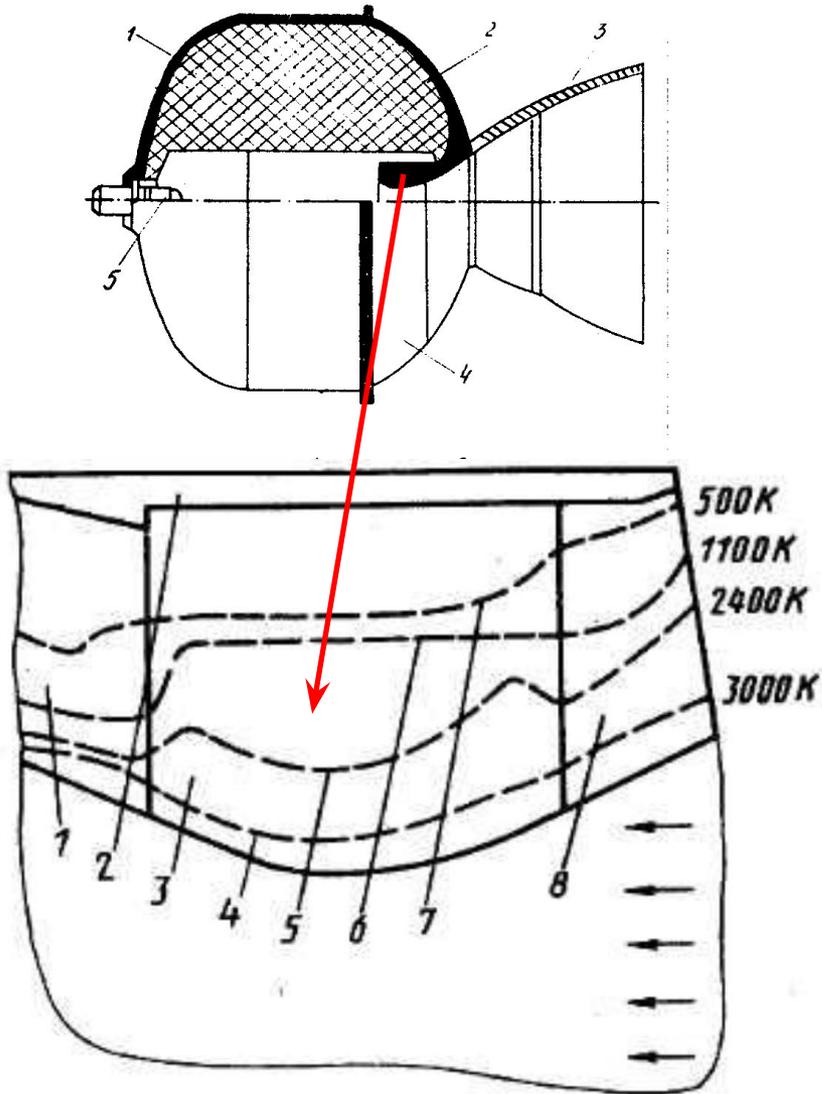
P 50 -500 кг/см<sup>2</sup>  
T 2000-3500 K

P 50 -300 кг/см<sup>2</sup>  
T 2000-2500 K

P 10-20 кг/см<sup>2</sup>  
T 800-900 K



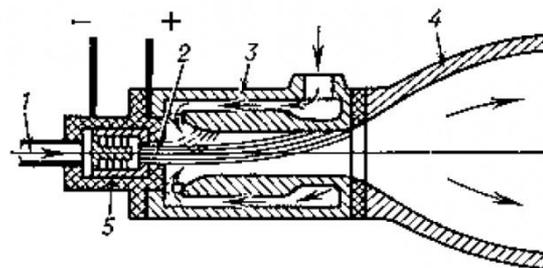
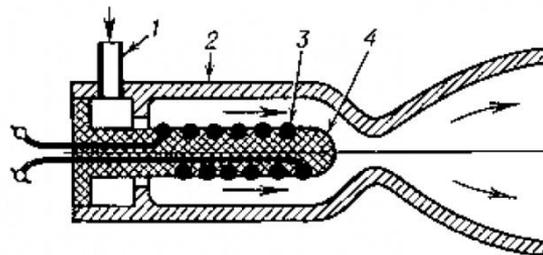
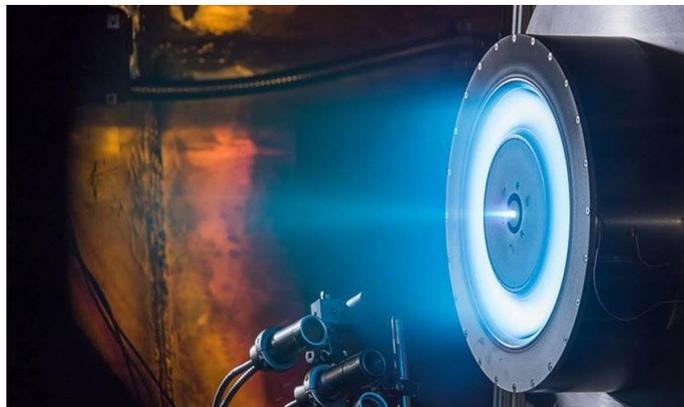
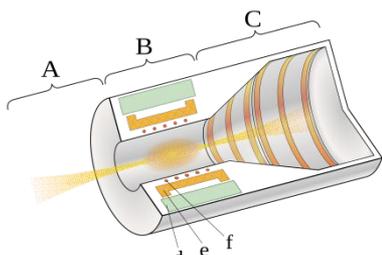
# Распределение температур в РДТТ



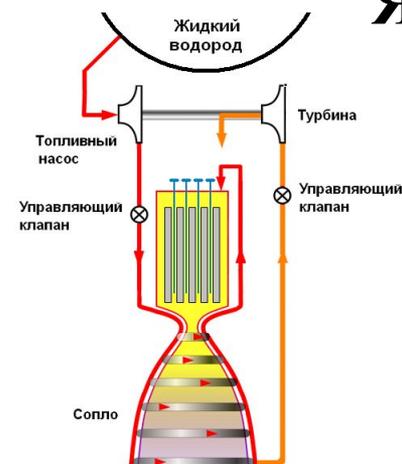
(зеркальное  
отображение)

# Термонагруженные узлы ЭРД и ЯРД

## ЭРД



## ЯРД



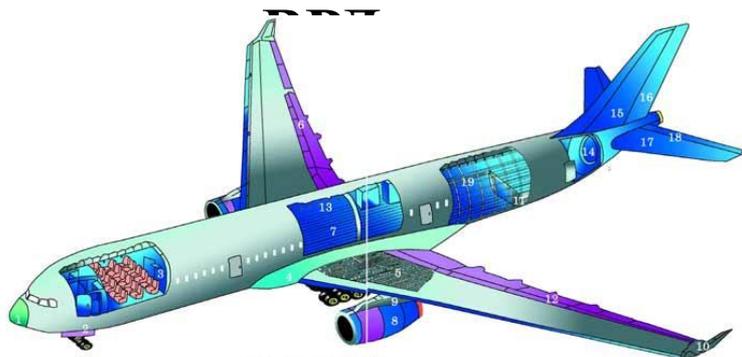
# ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Классификация двигателей летательных аппаратов (ДЛА)

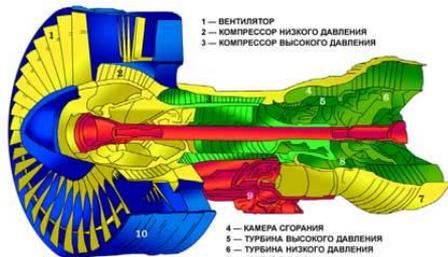
**2. Неметаллические композиционные материалы (НМКМ). Компоненты и материалы, применяемые в НМКМ**

3. Технологии КМ применительно к деталям и узлам ДЛА

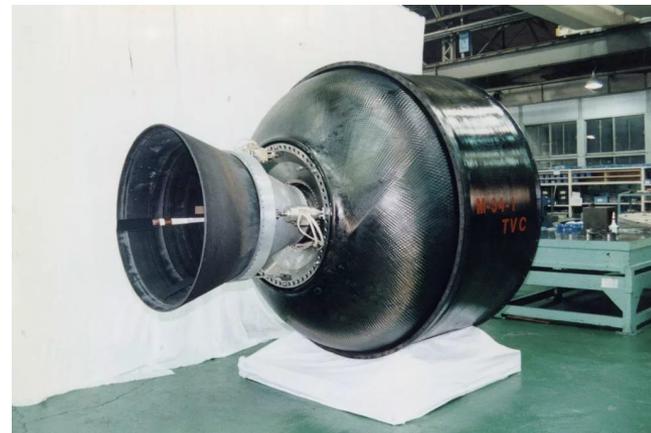
# Применение НМКМ в узлах ДЛА



- 1 — ОБЪЕКАТЕЛЬ МЕТЕОРАДАРА
  - 2 — СТЕРЖИ НОВОГО ЦИССИ
  - 3 — ВНУТРЕННИЕ ПЕРЕГОРОДКИ
  - 4 — ЗАПЬЗЫ КРЫЛА
  - 5 — СИЛОВОЙ НАБОР КРЫЛА
  - 6 — МЕХАНИЗМАЯ КРЫЛА
  - 7 — ПОД ПАЛУБЫ
  - 8 — ГОНДОЛЫ ДВИГАТЕЛЕЙ
  - 9 — ОБЪЕКАТЕЛЬ ФИКОНА
  - 10 — ЗАКОНЦОВКИ КРЫЛА
  - 11 — ВИМС
  - 12 — ОБЪЕКАТЕЛЬ ПРИВОДА ЗАКРЫЛКА
  - 13 — ВНУТРЕННИЕ ПАНЕЛИ
  - 14 — ГЕРМЕТИКАУТУ
  - 15 — КИЛЬ
  - 16 — РУЛЬ НАПРАВЛЕНИЯ
  - 17 — СТАБИЛИЗАТОР
  - 18 — РУЛЬ ВЫСОТЫ
  - 19 — СИЛОВОЙ НАБОР (ШАНГСУТЫ И СТРИНГЕРЫ)
- УГЛЕТЕКЛОПЛАСТИК С СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ
  - УГЛЕПЛАСТИК
  - КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, АРМИРОВАННЫЙ КВАРЦЕВЫМ ВОЛОКНОМ
  - СТАЛЬ
  - ТИТАНОВЫЕ СПЛАВЫ
  - АЛ ИЛИ А-LI СПЛАВЫ
  - УГЛЕПЛАСТИК С СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ
  - NI СПЛАВЫ



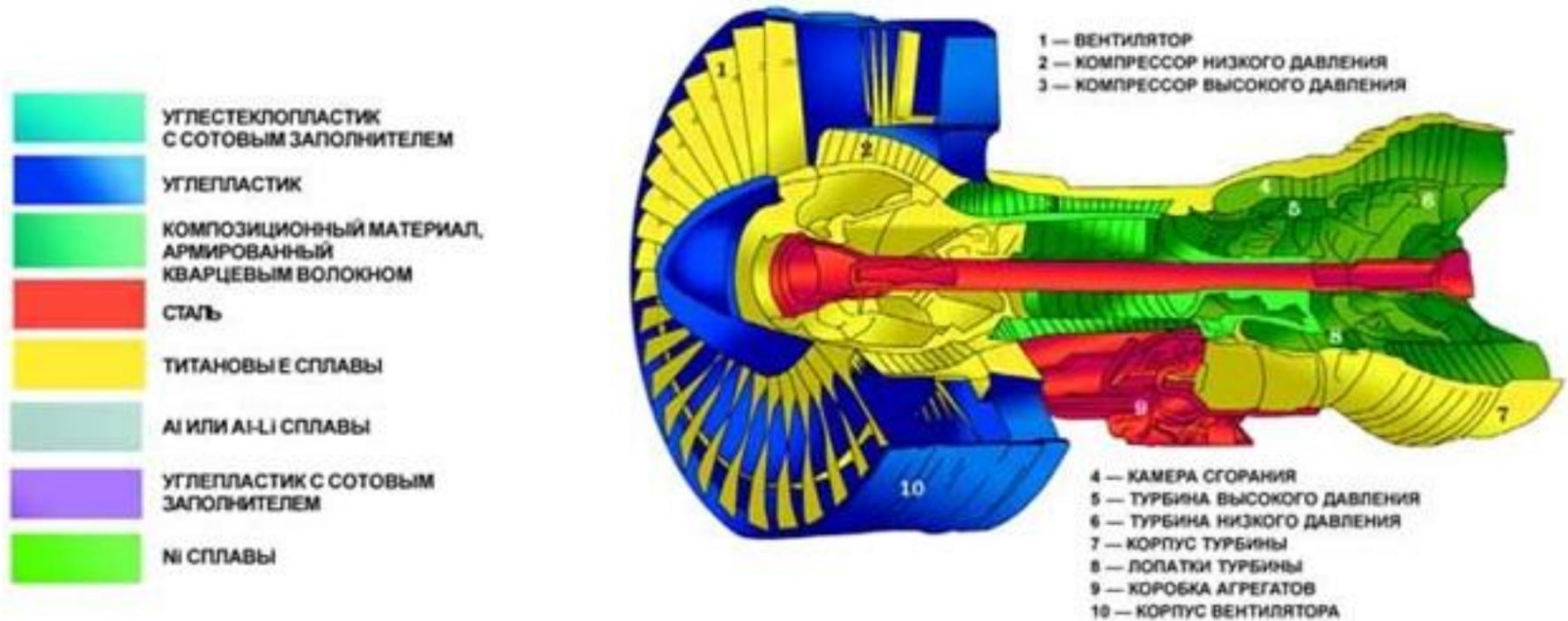
- 1 — ВЕНТИЛЯТОР
- 2 — КОМПРЕССОР НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ
- 3 — КОМПРЕССОР ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ
- 4 — КАМЕРА СГОРАНИЯ
- 5 — ТУРБИНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ
- 6 — ТУРБИНА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ
- 7 — КОРПУС ТУРБИНЫ
- 8 — ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ
- 9 — КОРОБКА АГРЕГАТОВ
- 10 — КОРПУС ВЕНТИЛЯТОРА



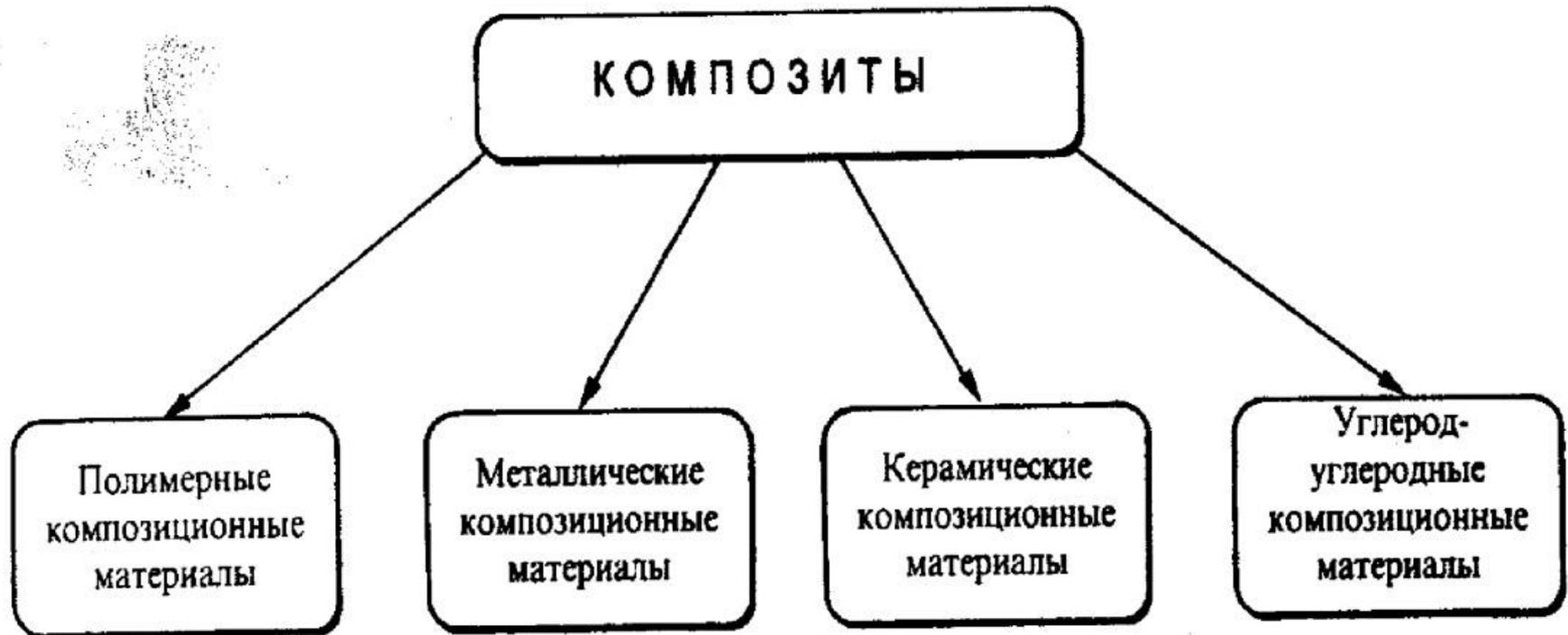
РДТТ

ЖРД

# Применение НМКМ в узлах ВРД

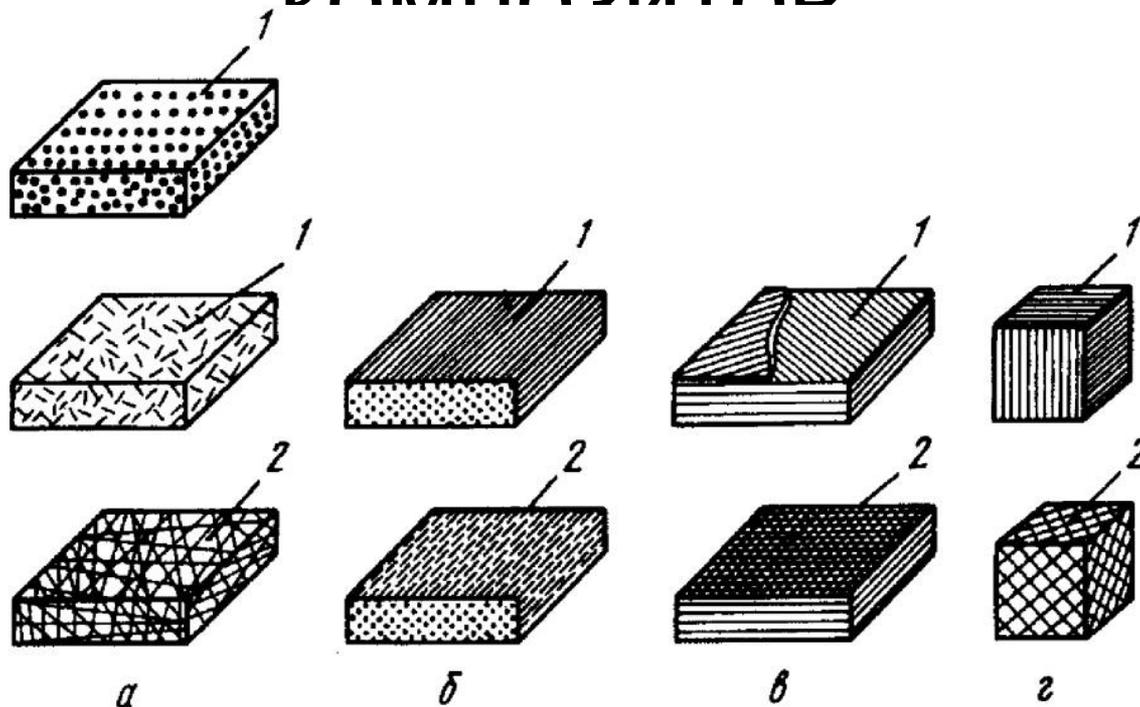


# Классификация композиционных материалов



# Характер армирования

## КОМПОЗИТОВ



Классификация композитов по конструктивному признаку:

*а* – хаотически армированные: *1* – короткие волокна; *2* – непрерывные волокна;  
*б* – одномерно-армированные: *1* – однонаправленные непрерывные; *2* – однонаправленные короткие; *в* – двумерно-армированные: *1* – непрерывные нити; *2* – ткани; *г* – пространственно армированные: *1* – три семейства нитей; *2* – *n* семейств нитей

# Сравнительная характеристика

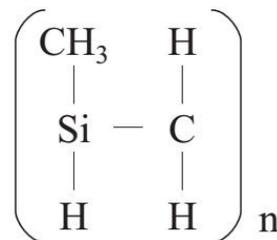
## ВОЛОКОН

Свойства	Волокно			
	Стеклоанное	Борное	Углеродное	Арамидное
Механические:				
удельная прочность	Высокая	Высокая	Средняя	Очень высокая
удельный модуль	Низкий	Высокий	Очень высокий	Средний
сопротивление удару	Отличное	Удовлетворительное	Плохое	Отличное
удлинение при разрыве	Высокое	Низкое	Среднее	Среднее
стабильность	Отличная	Отличная	Средняя	Отличная
Теплофизические:				
теплопроводность	Низкая	Средняя	Высокая	Низкая
температурный КЛТР	Средний	Средний	Очень низкий	Очень низкий
демпфирующая способность	Высокая	Удовлетворительная	Хорошая	Отличная
Производственно-технологические:				
наименьший радиус изгиба	Малый	Очень большой	Малый	Малый
чувствительность к повреждениям при переработке	Средняя	Средняя	Высокая	Низкая
возможность переработки в ленты и ткани	Хорошая	Плохая	Хорошая	Хорошая
Стоимость	Очень низкая	Высокая	Умеренная	Умеренная

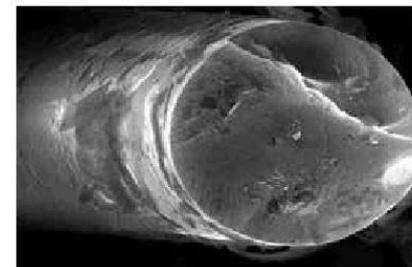
# Характеристика волокон SiC

Торговая марка	Производитель	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность на разрыв, ГПа	Модуль Юнга, ГПа	Теплопроводность, Вт/м·град	Коэффициент термического расширения, град <sup>-1</sup> (1000°C)
Nicalon, NL200	Nippon Carbon	2.55	3.0	220	3	3.2
Hi-Nicalon	Nippon Carbon	2.74	2.8	270	8	3.5
Hi-Nicalon Type S	Nippon Carbon	3.05	~2.5	400–420	18	–
Tyranno Lox M	Ube Industries	2.48	3.3	187	1.5	3.1
Tyranno ZMI	Ube Industries	2.48	3.3	200	2.5	–
Tyranno SA 1–3	Ube Industries	3.02	2.8	375	65	–
Sylramic	(Dow Corning) COI Ceramics	3.05	3.2	~400	46	5.4
Sylramic-iBN	COI Ceramics + NASA	3.05	3.2	~400	>46	5.4
SCS-6-9/Ultra SCS	Speciality Materials	~3	~3.5/~6	390–350/390	~70	4.6

(a) Molecular formula of polymer source material



(b) Appearance



5 μm

Fig. 1 SiC fiber



# Ткани для НМКМ

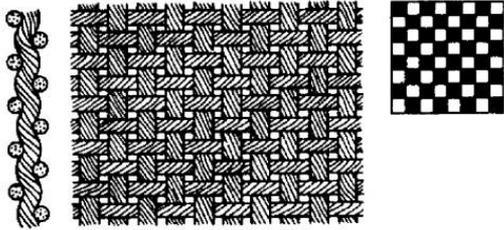


Схема полотняного переплетения

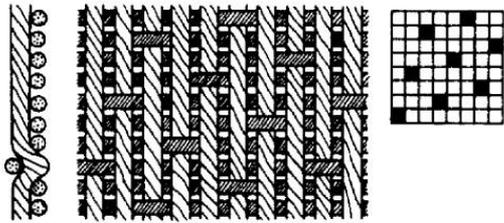


Схема сатинового переплетения

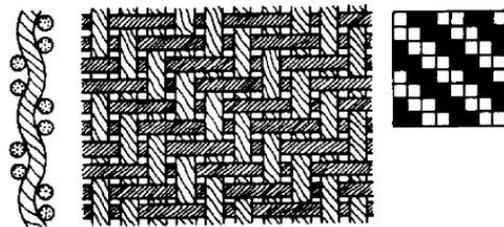
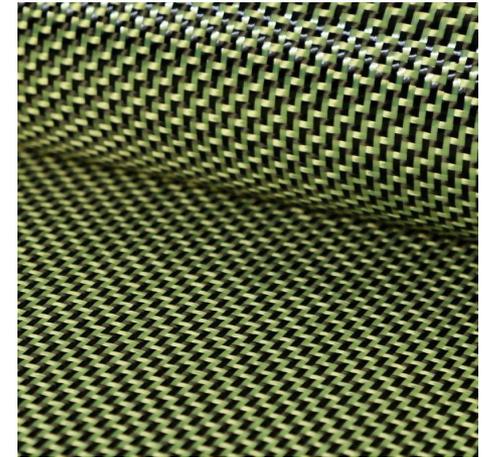
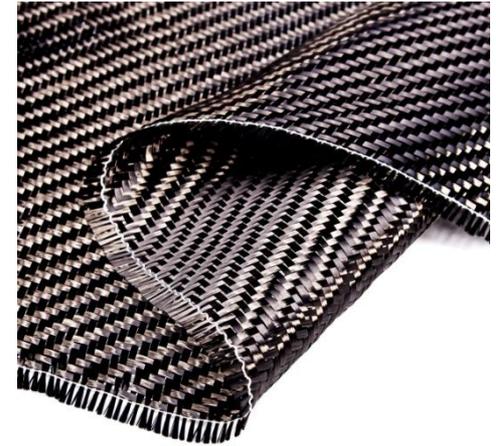
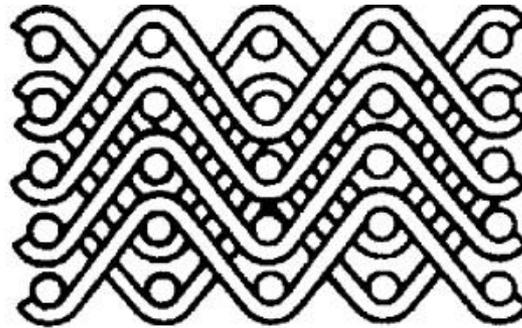
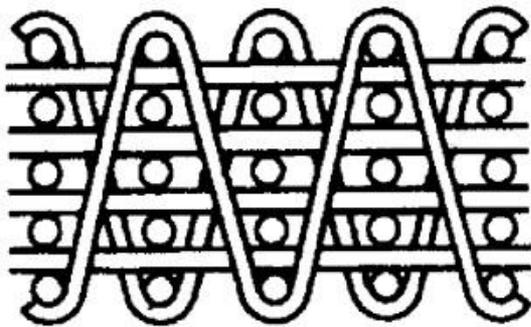


Схема саржевого переплетения

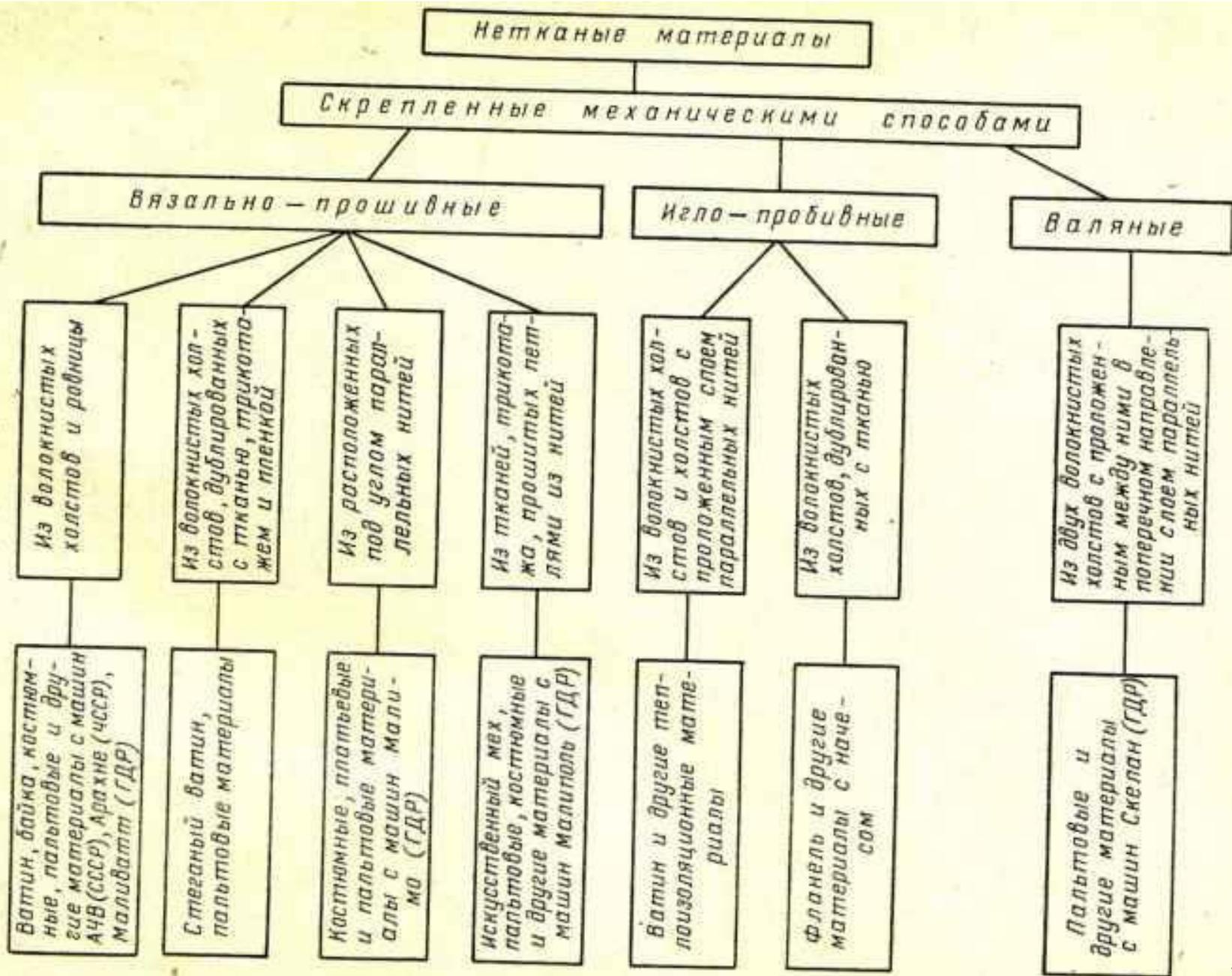


# Ткани для НМКМ



Схемы многослойного переплетения





# Нетканые технологии в НМКМ



**Нетканый  
материал**

# Нетканые технологии в НМКМ



**Брэйдинговое  
плетение**



# Матричные материалы НМКМ

**-Полимерные**

**- Углеродные**

**- Керамические**

# Характеристики полимерных связующих для ПКМ

Характеристика	Связующие				
	Фенол-формальдегидные	Кремний-органические	Полиэфирные	Эпоксидные	Полиимидные
Предел прочности, МПа: при растяжении $\sigma_1^+$	40-70	25-50	30-70	35-100	90-95
при сжатии $\sigma_1^-$	100-125	60-100	80-150	90-160	250-280
Модуль упругости $E_1^+$ , ГПа	7-11	6,8-10	2,8-3,8	2,4-4,2	3,2-5
Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,2-1,3	1,35-1,40	1,2-1,35	1,2-1,3	1,41-1,43
Теплостойкость по Мартенсу, °С	140-180	250-280	50-80	130-150	250-320
Относительное удлинение, %	0,4-0,5	0,3-0,5	1,0-5,0	2-9	1-2,5
Объемная усадка, %	15-25	15-20	5-10	1-5	15-20
КЛТР $\alpha \cdot 10^5$ , 1/°С	6,0-8,0	2,0-4,2	6,0-9,0	4,8-8,0	5,0-5,8
Водопоглощение за 24 ч, %	0,3-0,4	0,08-0,12	0,1-0,2	0,01-0,08	0,28-0,32

# Характеристики армированных

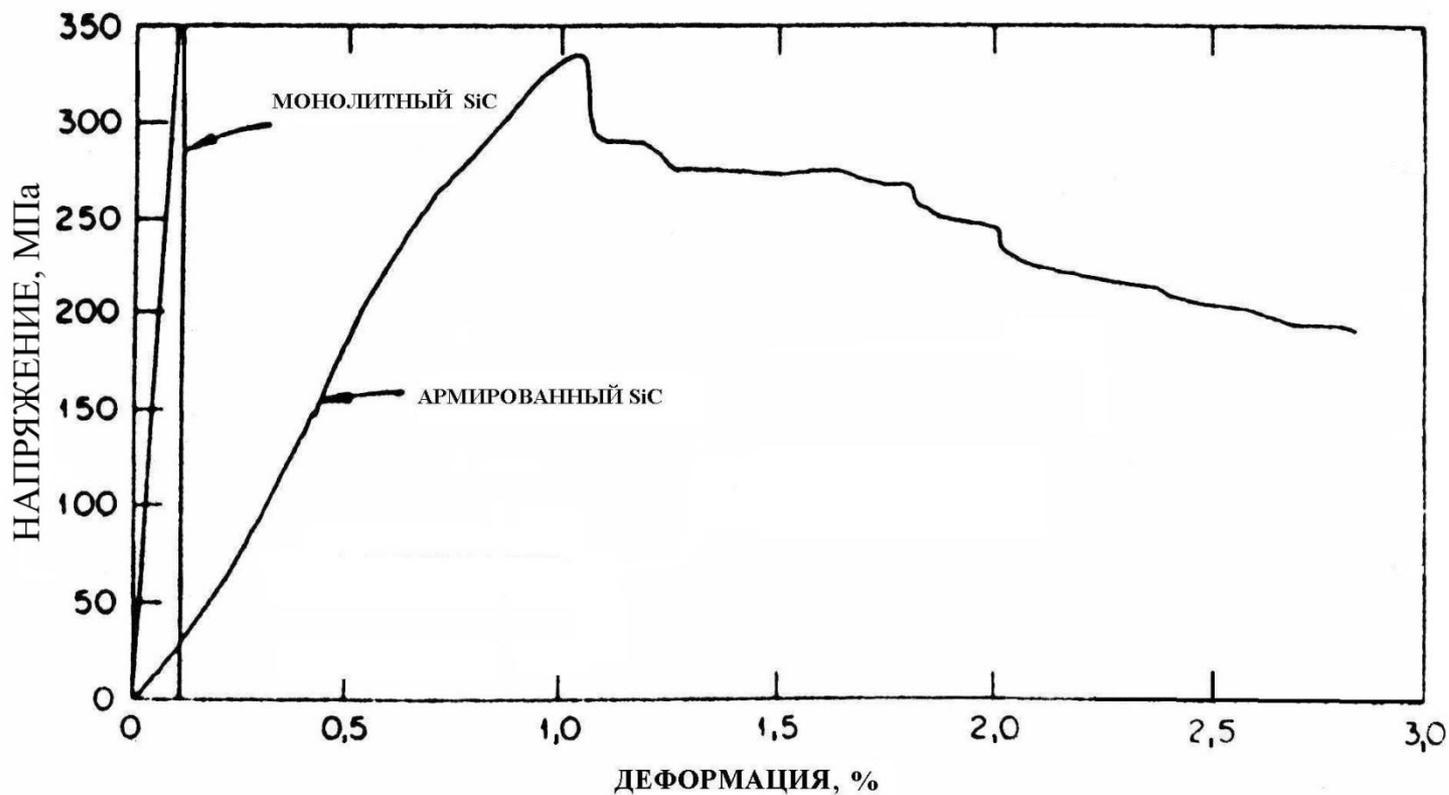
## ПИСА

Марка ткани	Вид переплетения	Толщина ткани, мм	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Содержание связующего, % (масс.)	Прочность при растяжении $\sigma_1^+$ , МПа		Модуль упругости при растяжении $E_1^+$ , ГПа	
					основа	уток	основа	уток
Стеклоткань АСТТ(6)-С (фенолформальдегидное связующее)	Сатиновое 8/3	0,35	1850	38,8	530	280	26,6	20
Стеклоткань Т (полиэфирное связующее)	Плотняное	0,27	1930	27,1	520	300	30	25
Стеклоткань МТБС-2,5 (полиэфирное связующее)	Много-слойное	2,5	1850	31,5	345	280	25	17,7
Углеткань П-5-13 (фенолформальдегидное связующее)	То же	3,0	1360	32,5	101	92	12	13,5
Арамидная ткань (Кевлар-49 на основе эпоксидного связующего)	Сатиновое 5/3	0,35	1330	50,0	517	310	27,6	21,5

# Характеристики УУКМ

Метод получения	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Прочность при растяжении $\sigma_1^+$ , МПа	Прочность при сжатии $\sigma_1^-$ , МПа	Модуль упругости $E_1 \cdot 10^{-3}$ , МПа	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·К)	КЛТР $\alpha \cdot 10^6$ , 1/К	Структура, тип матрицы
УУКМ на основе высокомолекулярных волокон (осаждение из газовой фазы)	1750	75,0	200,0	30,0	6-8	2-3	3D-плетеная, пироуглерод
УУКМ на основе низкомолекулярных волокон (пропитка при низком давлении)	1500	80,0	185,0	23,0	5	6	Тканевая, фенольная смола
УУКМ на основе высокомолекулярных волокон (пропитка в газостате)	1700	91,0	99,0	31,0	3,8	2,6	Тканевая, фенольная смола
УУКМ на основе высокомолекулярных волокон (осаждение из газовой фазы)	1800	100,0	200,0	42,0	10	4	4D-плетеная, пироуглерод
Графит ЦМ-Р	1960	13,0	75,0	53,0	110-130	3,4	—

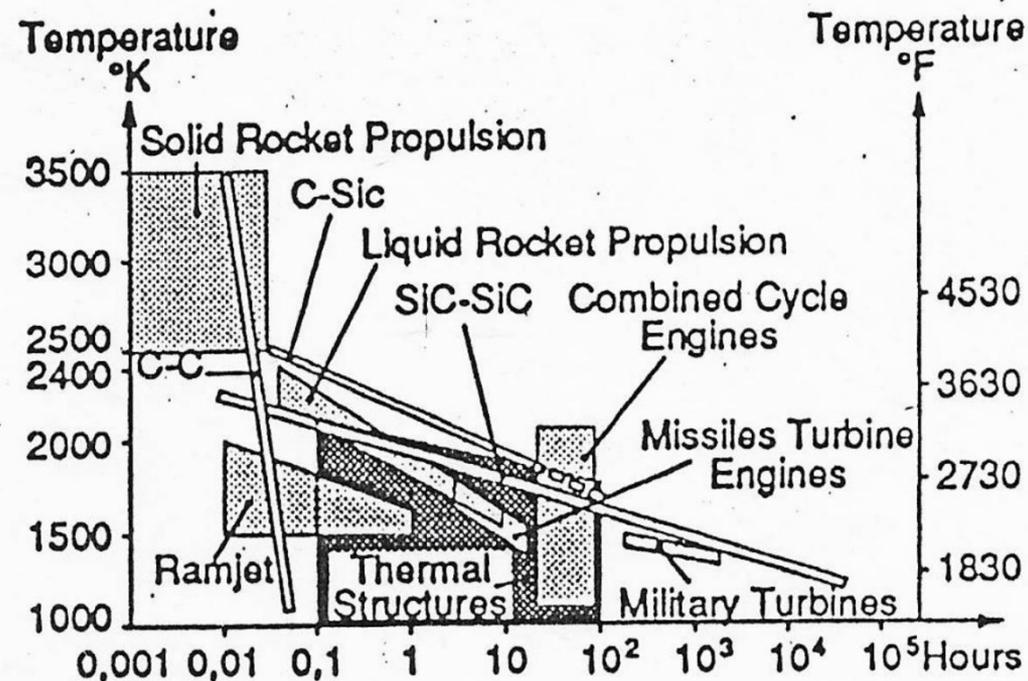
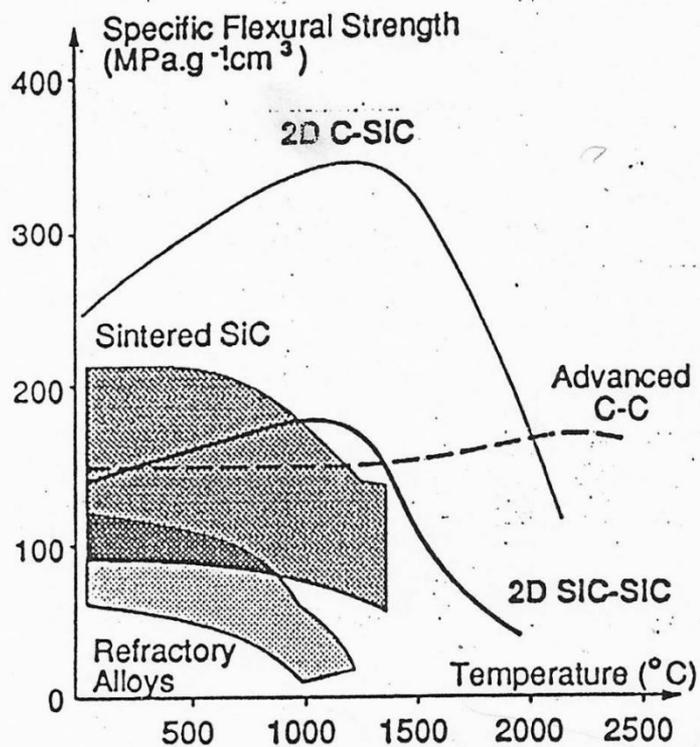
# Поведение ККМ при испытаниях на изгиб



# Характеристики ККМ C-SiC и C-SiC

Характеристика	Тип материала	
	<u>SiC-SiC</u>	<u>C-SiC</u>
Объёмное содержание волокон, %	40	45
Плотность, $\text{кг/м}^3$	2500	2100
Пористость, %	10	10
Прочность при растяжении, МПа	200	350
Относительное удлинение, %	0,3	0,9
Модуль Юнга, ГПа	230	90
Прочность при изгибе, МПа	300	500
Прочность при сжатии в плоскости $xu$ , МПа	580	580
Прочность при сжатии вдоль оси $z$ , МПа	420	420
Прочность при межслоевом сдвиге, МПа	40	35
Коэффициент температурного расширения в плоскости $xu$ , $10^{-6}/\text{К}$	3	3
Коэффициент температурного расширения вдоль оси $z$ , $10^{-6}/\text{К}$	2,5	5
<u>Температуропроводность</u> в плоскости $xu \cdot 10^{-6}$ , $\text{м}^2/\text{с}$	12	11
<u>Температуропроводность</u> в направлении $z \cdot 10^{-6}$ , $\text{м}^2/\text{с}$	6	5
Удельная теплоёмкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	620	620

# Применение **высокотемпературных КМ (УУКМ ККМ) в узлах ДЛА**



# ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Классификация двигателей летательных аппаратов (ДЛА)

2. Неметаллические композиционные материалы (НМКМ). Компоненты и материалы, применяемые в НМКМ

**3. Технологии КМ применительно к деталям и узлам ДЛА**

# **Технологии НМКМ применительно к деталям и узлам ДЛА**

**1. Получение полимерных КМ**

**2. Получение УУКМ**

**3. Получение(У)ККМ**

**4. Получение композитной керамики УНТС**

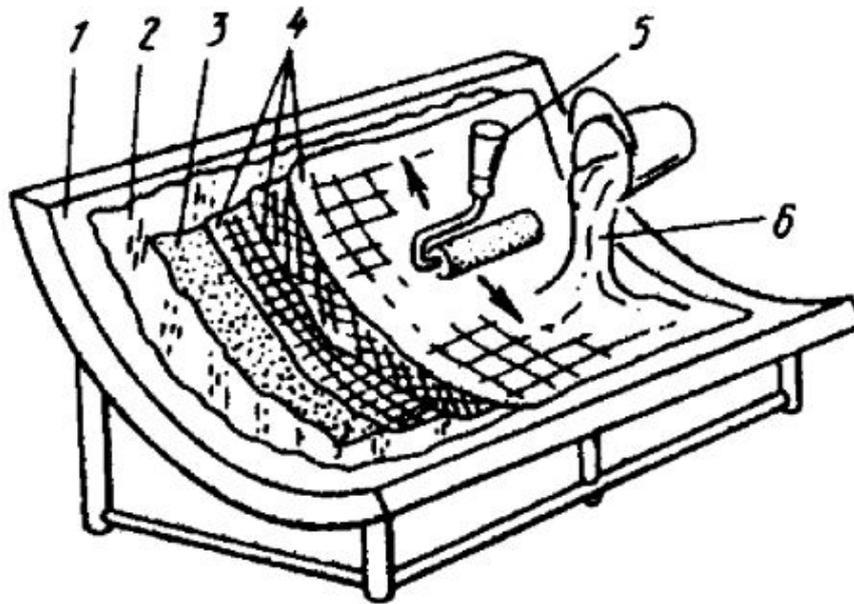
# Основные технологии ПКМ

Технологический процесс	Рекомендуемые компоненты ПКМ	
	Тип армирующего наполнителя	Тип связующего
<p>Контактное формование: ручная выкладка</p> <p>напыление автоматизированная выкладка</p>	<p>Короткие волокна, ленты, ткани,</p> <p>Маты Ленты</p>	<p>Полиэфирные, эпоксидные, фенольные, фурановые, термопластичные</p>
<p>Формование с эластичной диафрагмой: вакуумное вакуумно-автоклавное вакуумно-пресс-камерное</p>	<p>Ткани, маты, ленты</p>	<p>Эпоксидные, полиэфирные, полиамидные, фенольные, полисульфон</p>
<p>Формообразование давлением: пропитка под давлением пропитка в вакууме</p>	<p>Ткани, маты, ленты, короткие волокна</p>	<p>Полиэфирные, эпоксидные, фенольные, фурановые, полиамидные</p>

# Основные технологии ПКМ

Технологический процесс	Рекомендуемые компоненты ПКМ	
	Тип армирующего наполнителя	Тип связующего
Прессование в формах: прямое	Ткани, ленты, маты	Полиэфирные, эпоксидные, фенольные, силиконовые, термопластичные
литьевое	Короткие волокна	
термокомпрессионное	Ткани, ленты, маты	
Намотка "мокрая"	Нити, ленты, жгуты, ткани, пленки	Эпоксидные, полиэфирные, фенольные, полиимидные, термопластичные
"сухая"	Препреги – нити, ленты, жгуты, ткани	
Пултрузия	Нити, жгуты, тканые ленты, т. неплетеные заготовки	Термореактивные, термопластичные

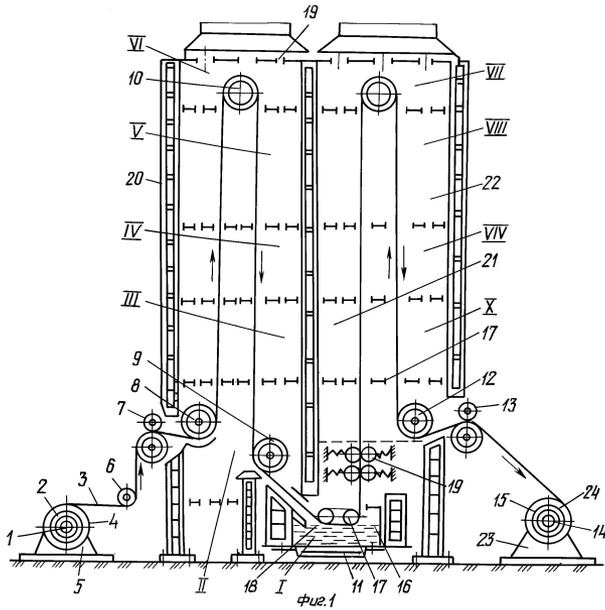
# Контактное формование



**Рис. 2.3.** Элементы конструкции формы и изделия при формовании ручной укладкой:

1 — форма; 2 — разделительная пленка;  
3 — наружный смоляной слой; 4 —  
стекловолокно; 5 — ручной валик; 6 —  
смола в смеси с катализатором

# Получение препрегов



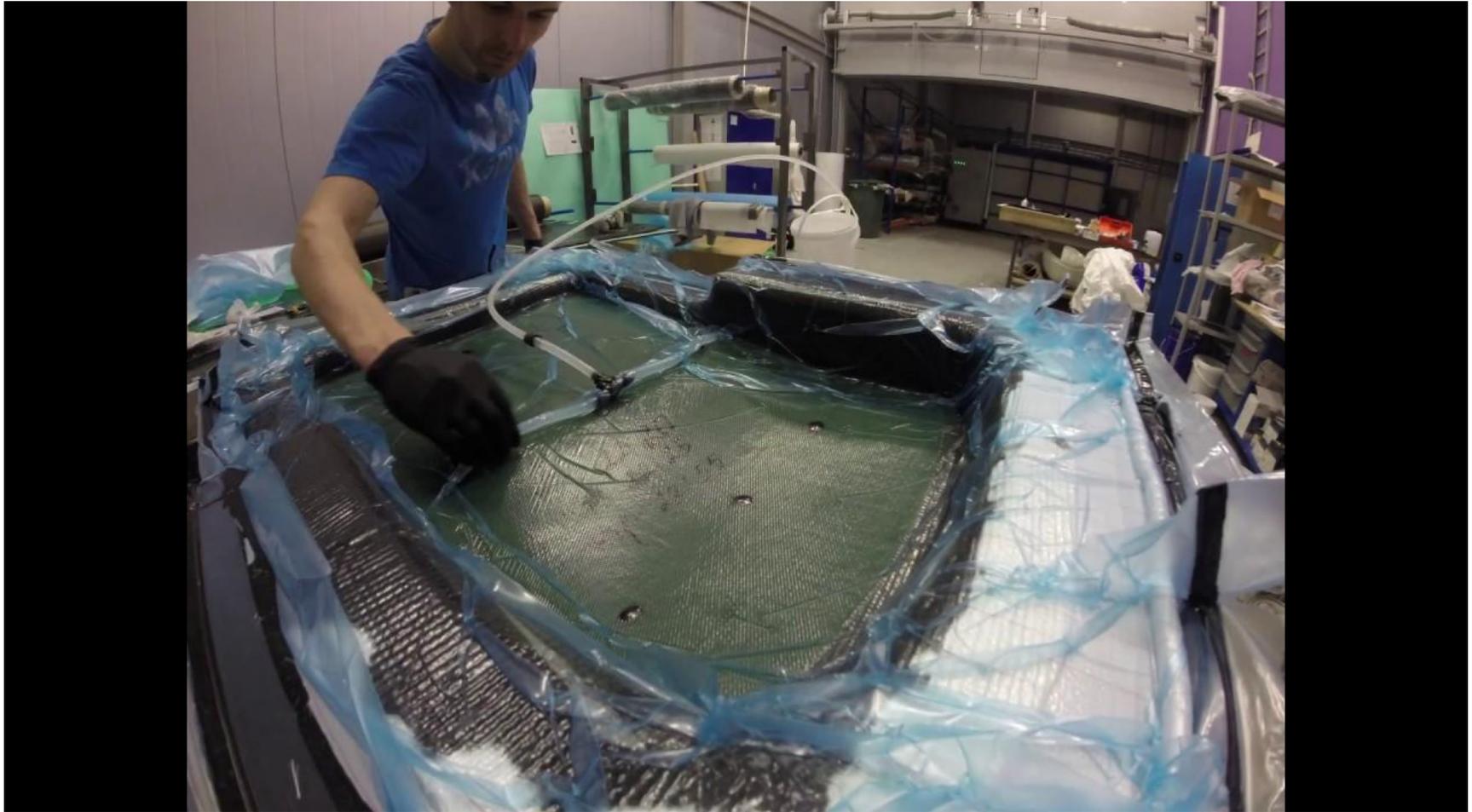
# Ручное контактное формование с использованием препрегов



# Контактное формование (автоматизированное)



# Пропитка сухих преформ под ваккумом

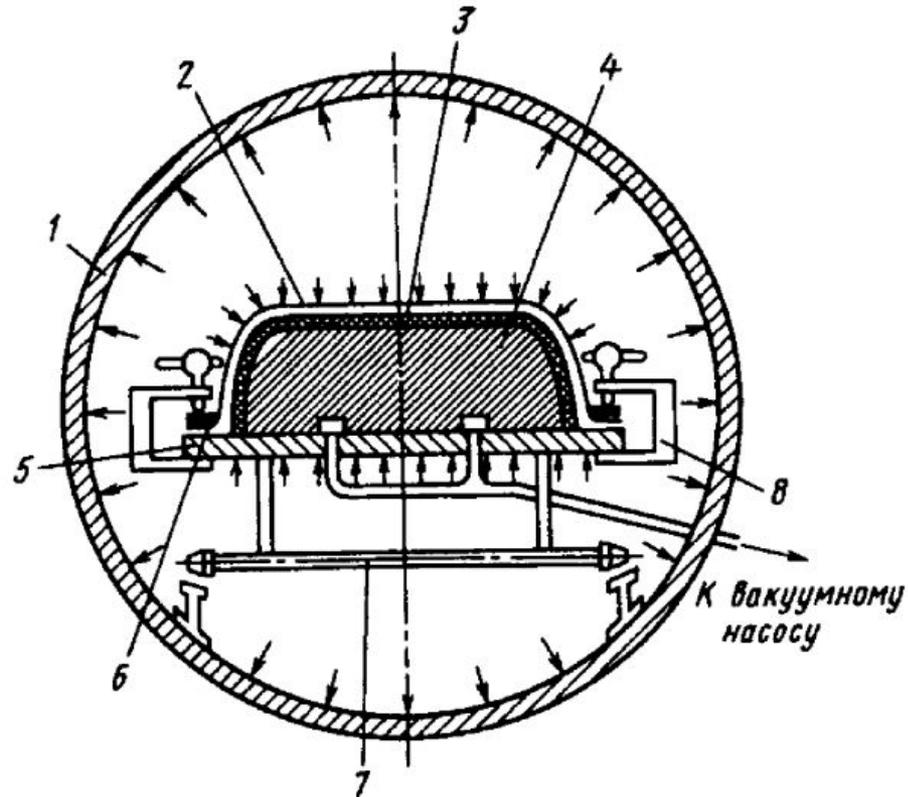


# Основные технологии ПКМ

Технологический процесс	Рекомендуемые компоненты ПКМ	
	Тип армирующего наполнителя	Тип связующего
<p>Контактное формование: ручная выкладка</p> <p>напыление</p> <p>автоматизированная выкладка</p>	<p>Короткие волокна, ленты, ткани,</p> <p>Маты</p> <p>Ленты</p>	<p>Полиэфирные, эпоксидные, фенольные, фурановые, термопластичные</p>
<p>Формование с эластичной диафрагмой: вакуумное</p> <p>вакуумно-автоклавное</p> <p>вакуумно-пресс-камерное</p>	<p>Ткани, маты, ленты</p>	<p>Эпоксидные, полиэфирные, полиамидные, фенольные, полисульфон</p>
<p>Формообразование давлением: пропитка под давлением</p> <p>пропитка в вакууме</p>	<p>Ткани, маты, ленты, короткие волокна</p>	<p>Полиэфирные, эпоксидные, фенольные, фурановые, полиамидные</p>



# Вакуумно-автоклавное формование



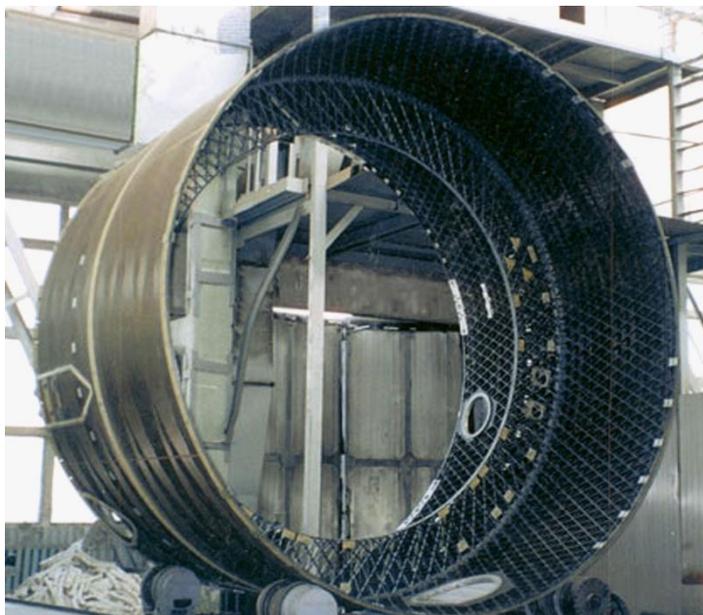
**Рис. 2.13.** Схема формования в автоклавах и гидроклавах:

1 – автоклав; 2 – резиновый чехол; 3 – формируемое изделие; 4 – форма; 5 – плита; 6 – прижимное устройство; 7 – тележка; 8 – винтовой зажим

# Вакуумно-автоклавное формование



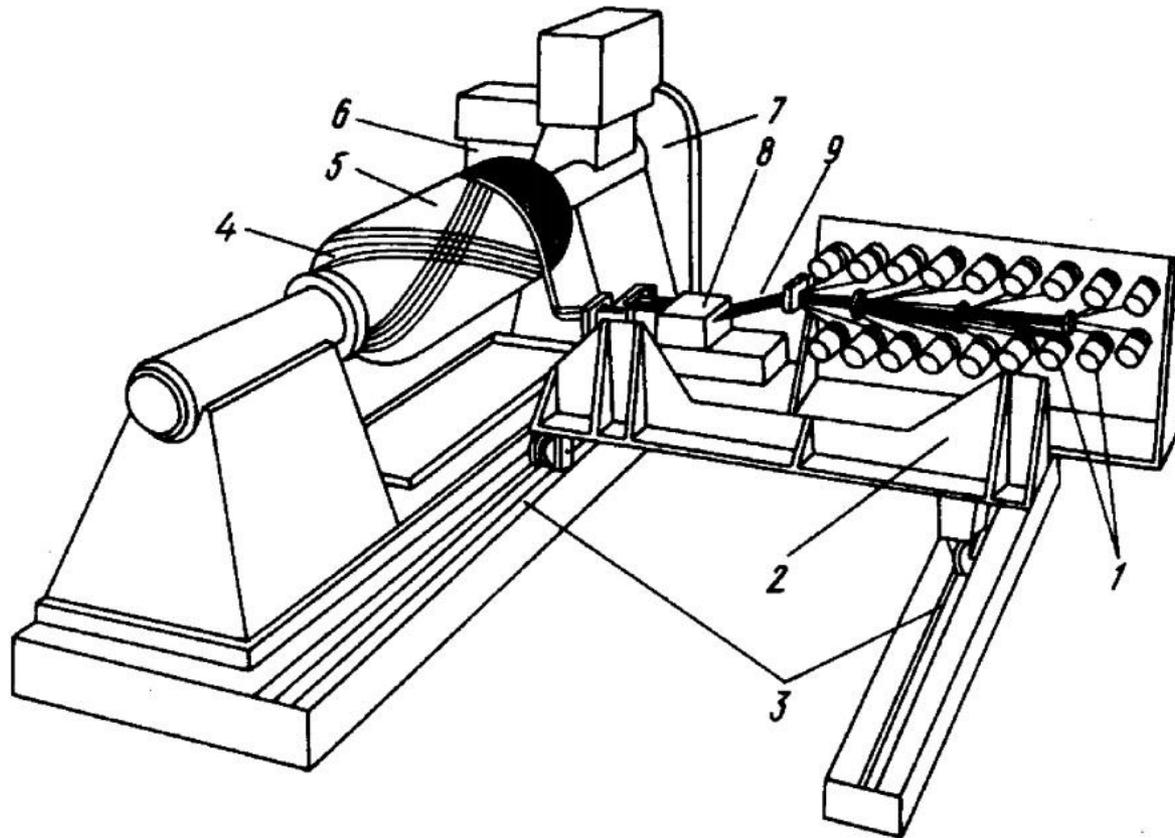
# Узлы ВРД из ПКМ



# Основные технологии ПКМ

Технологический процесс	Рекомендуемые компоненты ПКМ	
	Тип армирующего наполнителя	Тип связующего
Прессование в формах: прямое	Ткани, ленты, маты	Полиэфирные, эпоксидные, фенольные, силиконовые, термопластичные
литьевое	Короткие волокна	
термокомпрессионное	Ткани, ленты, маты	
Намотка "мокрая"	Нити, ленты, жгуты, ткани, пленки	Эпоксидные, полиэфирные, фенольные, полиимидные, термопластичные
"сухая"	Препреги – нити, ленты, жгуты, ткани	
Пултрузия	Нити, жгуты, тканые ленты, тканые неплетеные заготовки	Термореактивные, термопластичные

# Мокрая намотка

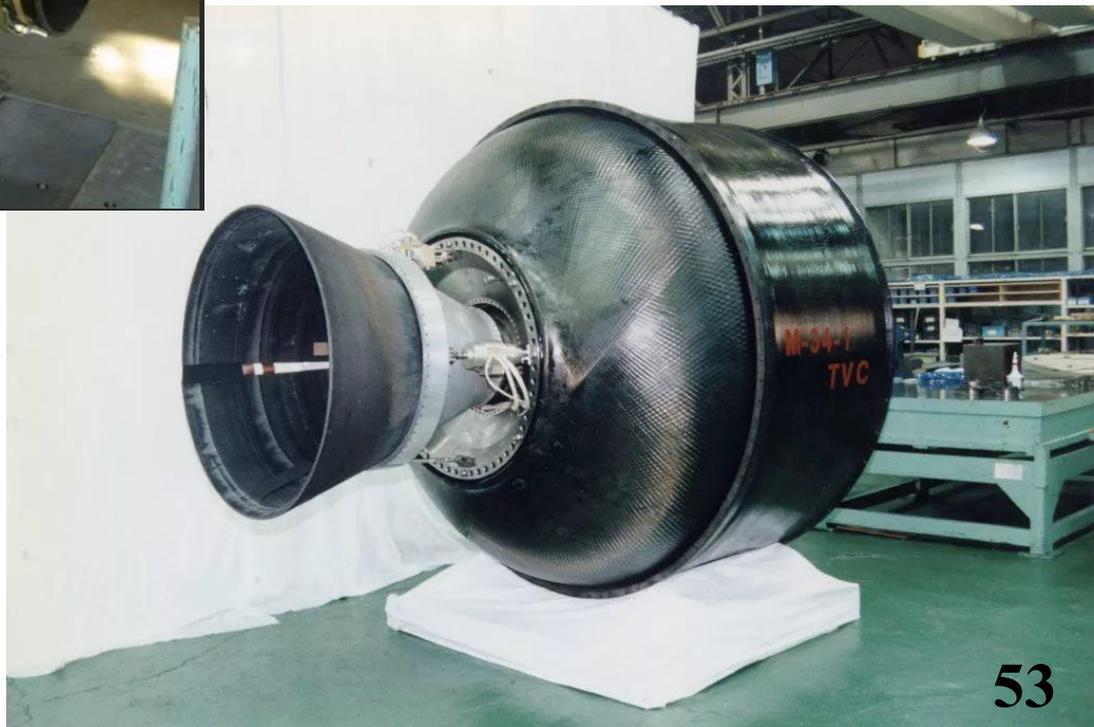


**Рис. 2.31.** Схема “мокрой” намотки:  
1 – шпули с нитями; 2 – шпулярник; 3 – направляющие перемещения намоточно-пропиточного тракта; 4 – спиральные слои; 5 – оправка; 6 – окружные слои; 7 – привод вращения; 8 – ванночка со связующим; 9 – сформированная пряжа

# Намотка препрегом (сухая)



# Применение ПКМ в РДТТ



# Технологии КМ применительно к деталям и узлам ДЛА



**1. Получение полимерных КМ**



**2. Получение УУКМ**



**3. Получение(У)ККМ**

**4. Получение композитной керамики УНТС**

# Получение УУКМ



**1. Углепластиковый передел (термообработка - карбонизация углепластика)**



**2. Пироуплотнение углеродом (или после стадии 1 или сухих преформ)**



**3. Жидкофазная пропитка и карбонизация под давлением (или после стадий 1 или 2, или сухих каркасов)**

# Термообработка полимерных связующих при получении УУКМ

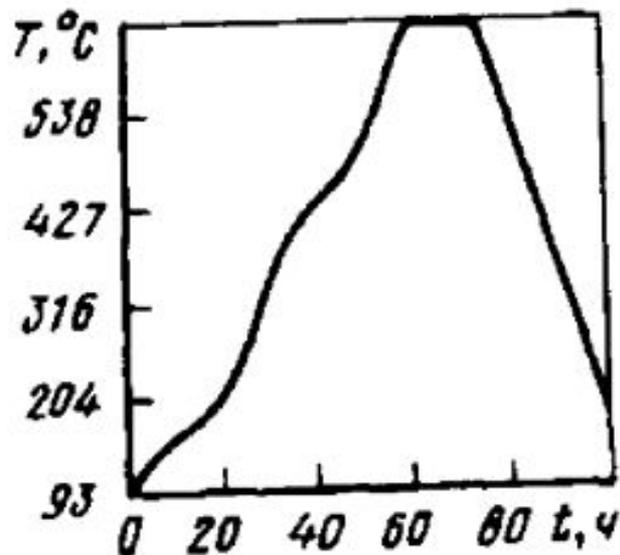


Рис. 1.36. Характерный цикл карбонизации

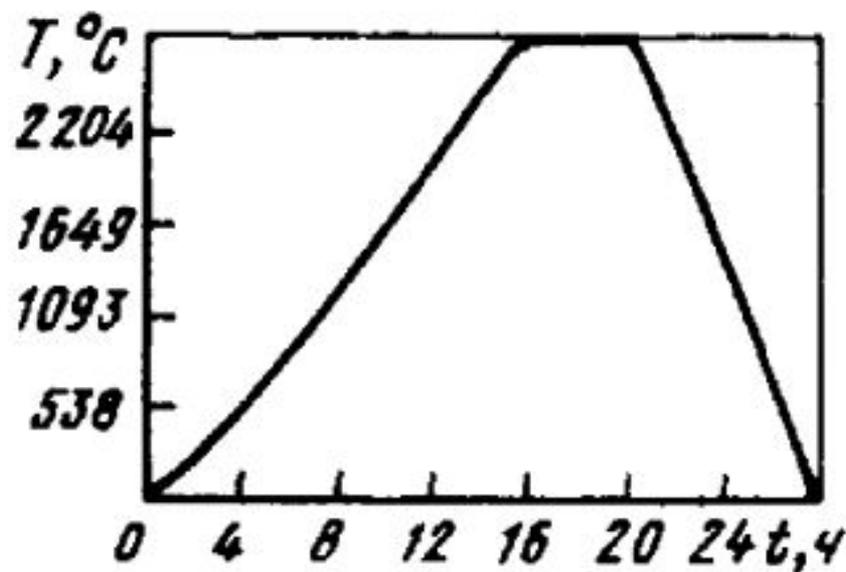
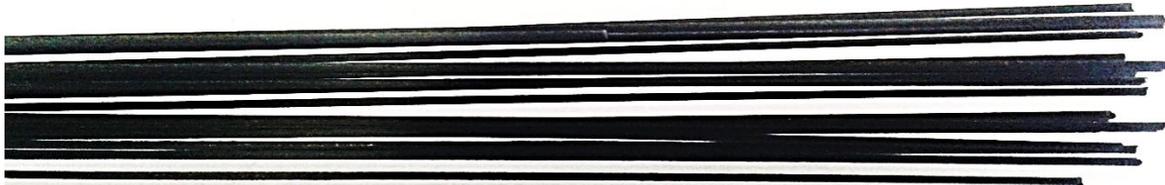
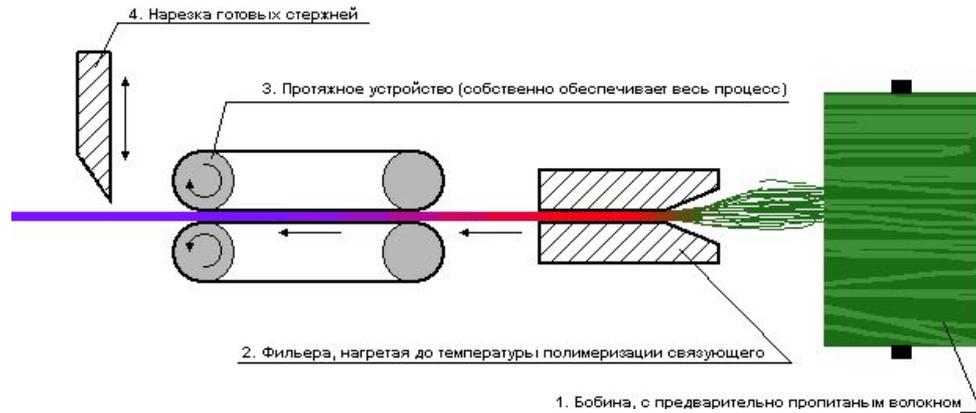
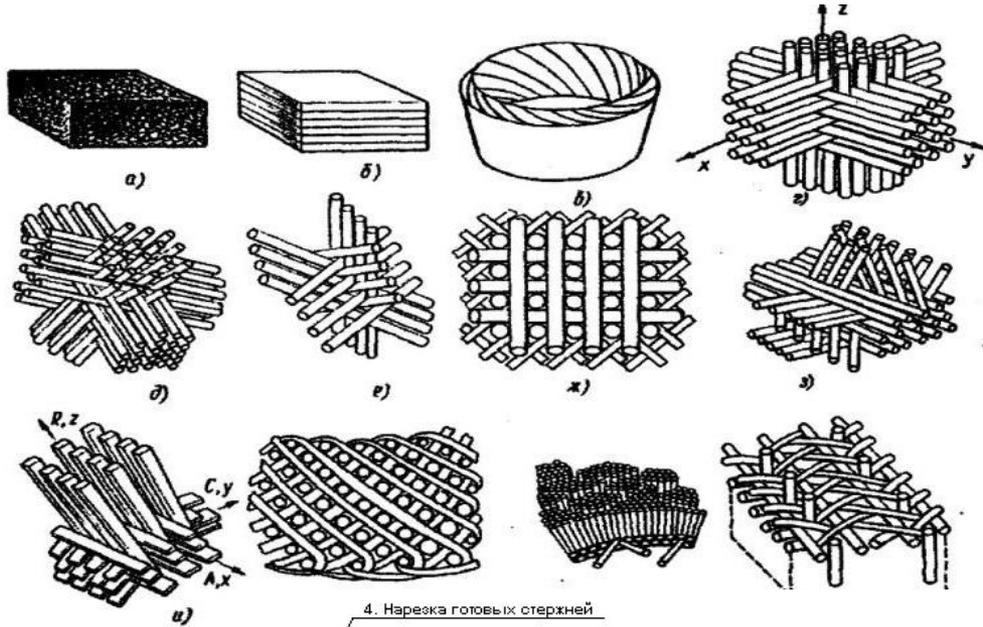


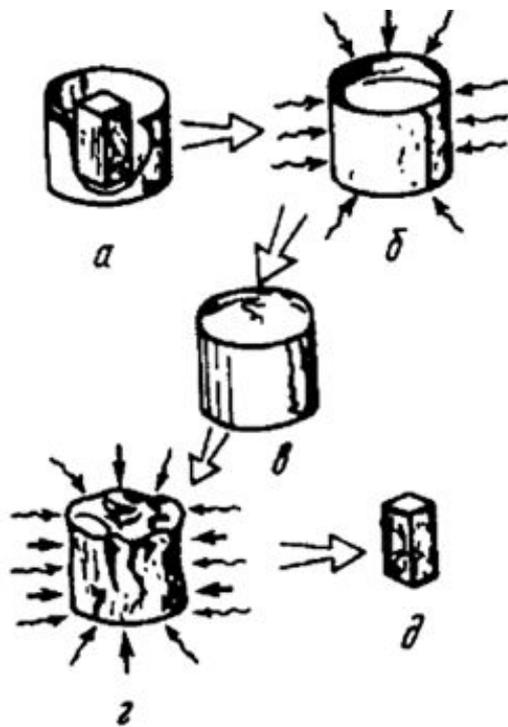
Рис. 1.37. Характерный цикл графитизации

# Армирующие структуры для УУКМ

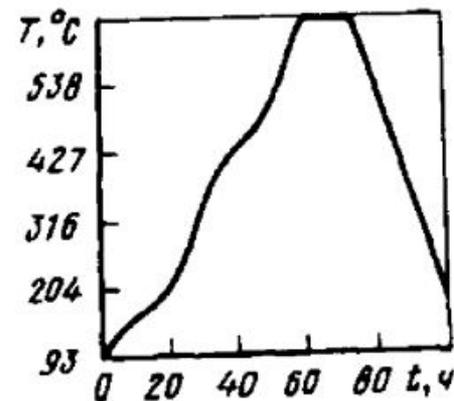


Углепластиковые стержни

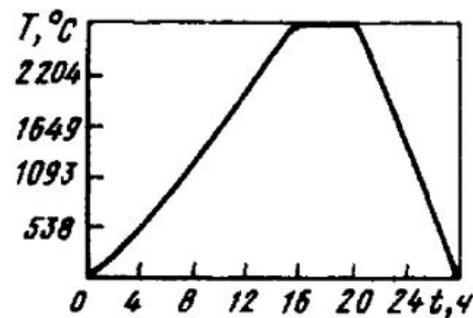
# Технология жидкофазной пропитки под давлением



**Рис. 1.39.** Последовательность операций цикла уплотнения под давлением:  
*a* — подготовка образца; *б* — пропитка; *в* — герметизация и откачка контейнера; *г* — карбонизация; *д* — очистка образца



**Рис. 1.36.** Характерный цикл карбонизации



**Рис. 1.37.** Характерный цикл графитизации

# Оборудование для формирования углеродной матрицы УУКМ методом жидкофазной пропитки в АО «Композит»



Внешний вид  
установки  
пропитки пеком

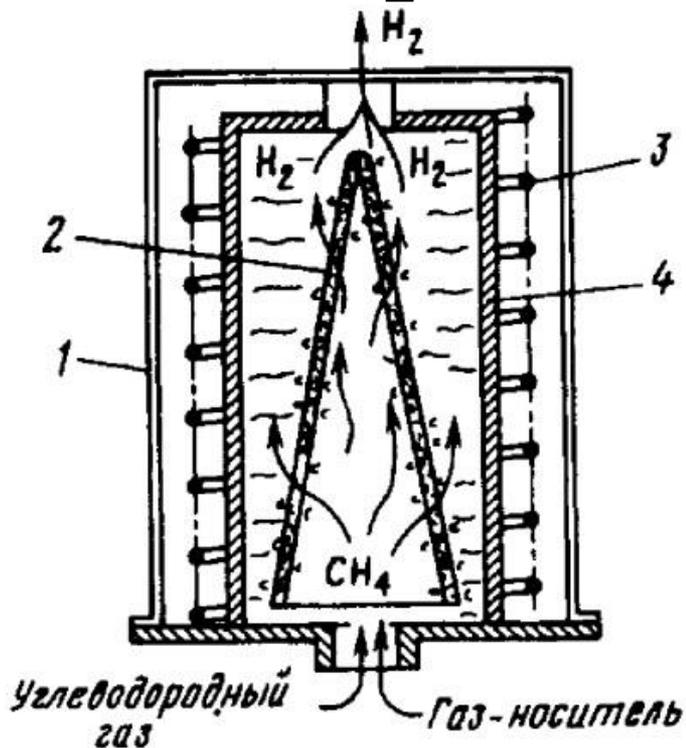


Внешний вид  
установки  
карбонизации



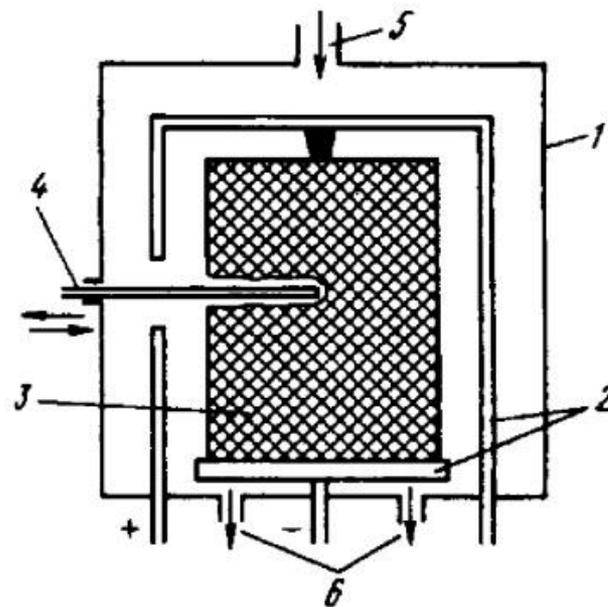
Установка  
высокотемпературной  
обработки до 2200 °С  
(графитации)

# Газофазное получение УУКМ



**Рис. 1.40.** Схема камеры для изотермического процесса химического осаждения:

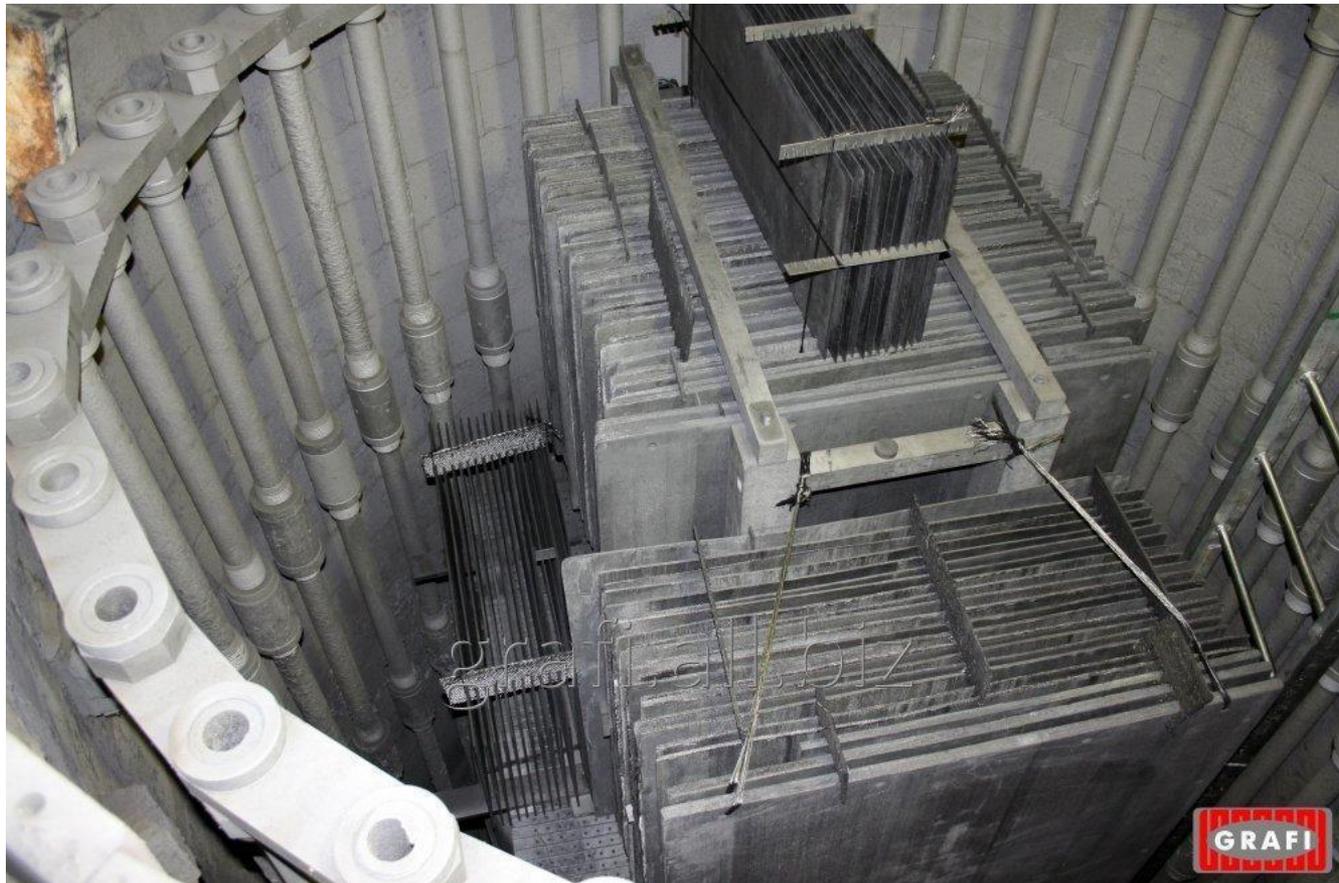
1 – кожух; 2 – углеродный каркас; 3 – индукционная катушка; 4 – графитовый сердечник



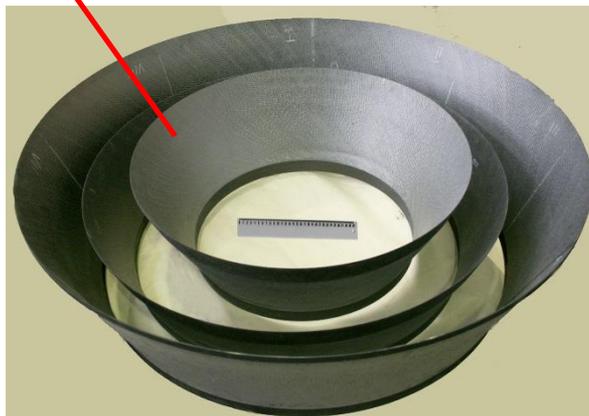
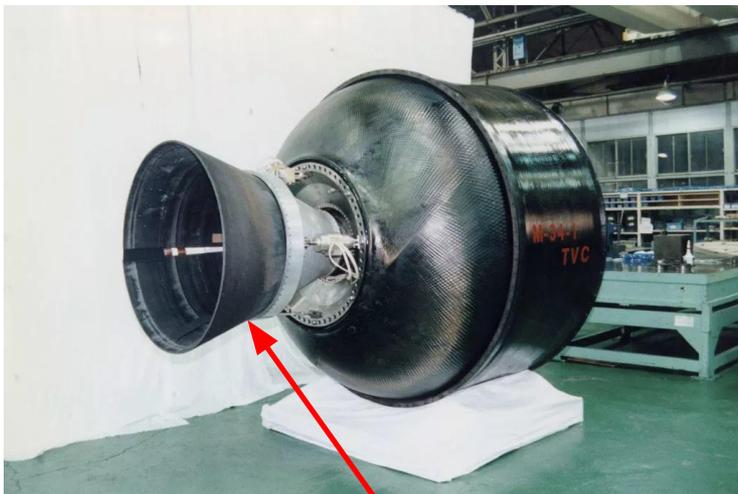
**Рис. 1.41.** Схема печи для осаждения пироуглерода по методу температурного градиента:

1 – корпус печи; 2 – тоководы; 3 – изделие; 4 – термопара; 5 – ввод углеводорода; 6 – выход продуктов реакции

# Размещение заготовок в печи при изотермическом получении УУКМ



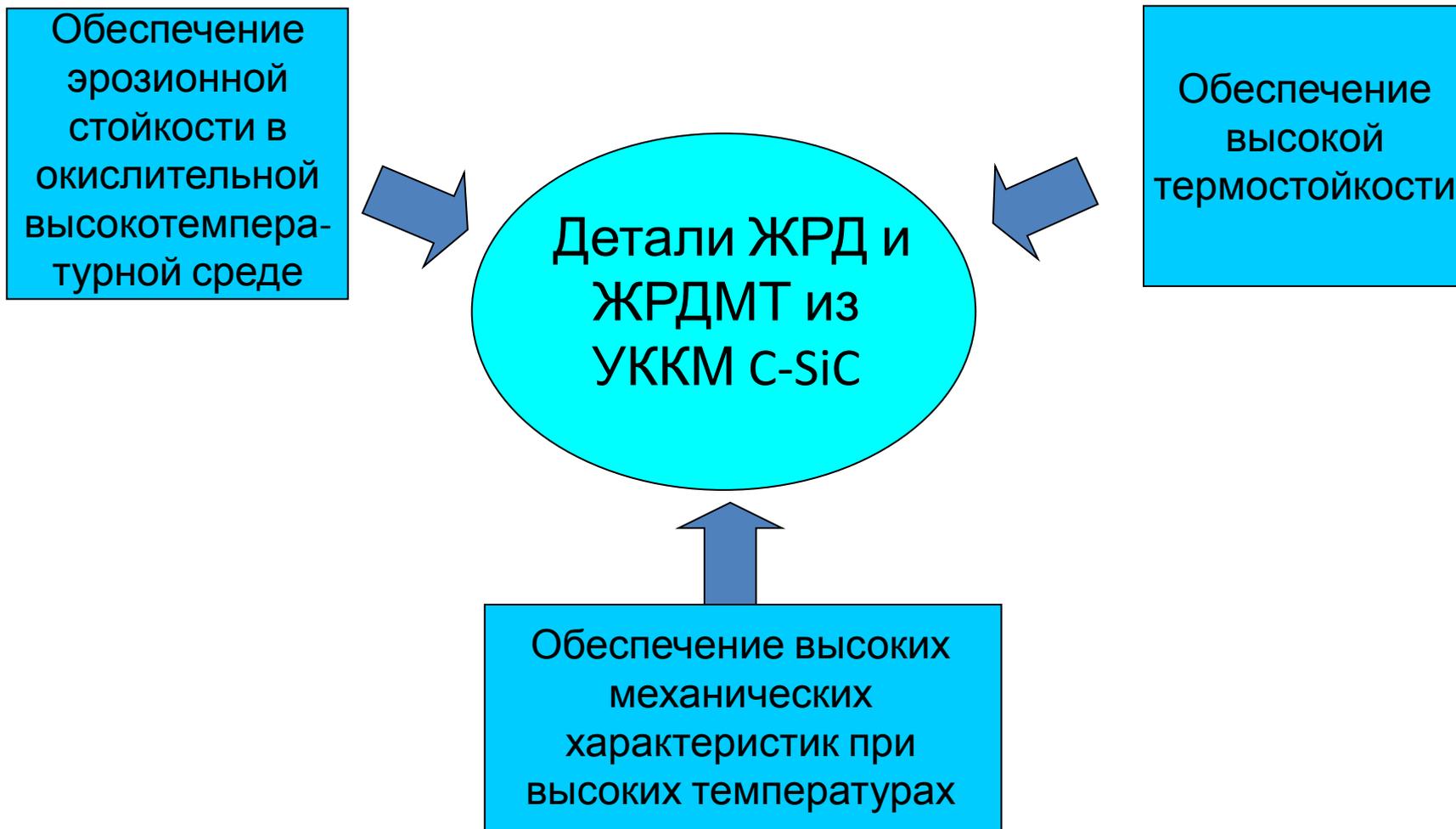
# Узлы РДТТ из УУКМ



Внешний вид демонстратора соплового  
вкладыша РДТТ  
из УУКМ марки МКУ4М-7-У

Внешний вид демонстратора  
ГР РДТТ  
из УУКМ марки ИПГП

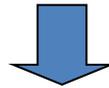
## Факторы воздействия среды на детали из УККМ C-SiC в ЖРД и ЖРДМТ



# Технология получения УККМ C-SiC в аспекте решения задач, связанных с противодействием среде функционирования

Обеспечение **прочности**, в т.ч. при высоких температурах, и **термостойкости**

Пористая УУКМ-заготовка



Газофазное или жидкофазное насыщение карбидом кремния



Получение покрытия толщиной 100 мкм методом газофазного осаждения



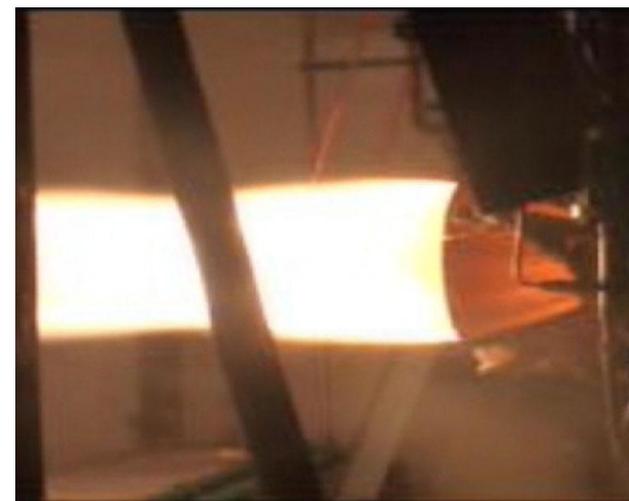
УККМ C-SiC, стойкий к воздействию факторов среды

Обеспечение **окислительной** и **теплоэрозийной стойкости**

# Применение УККМ в ЖРД

Камеры сгорания ЖРДМТ

МАИ-202-200



Крупногабаритный  
СНРО

# Применение УККМ в ПВРД ГЛА

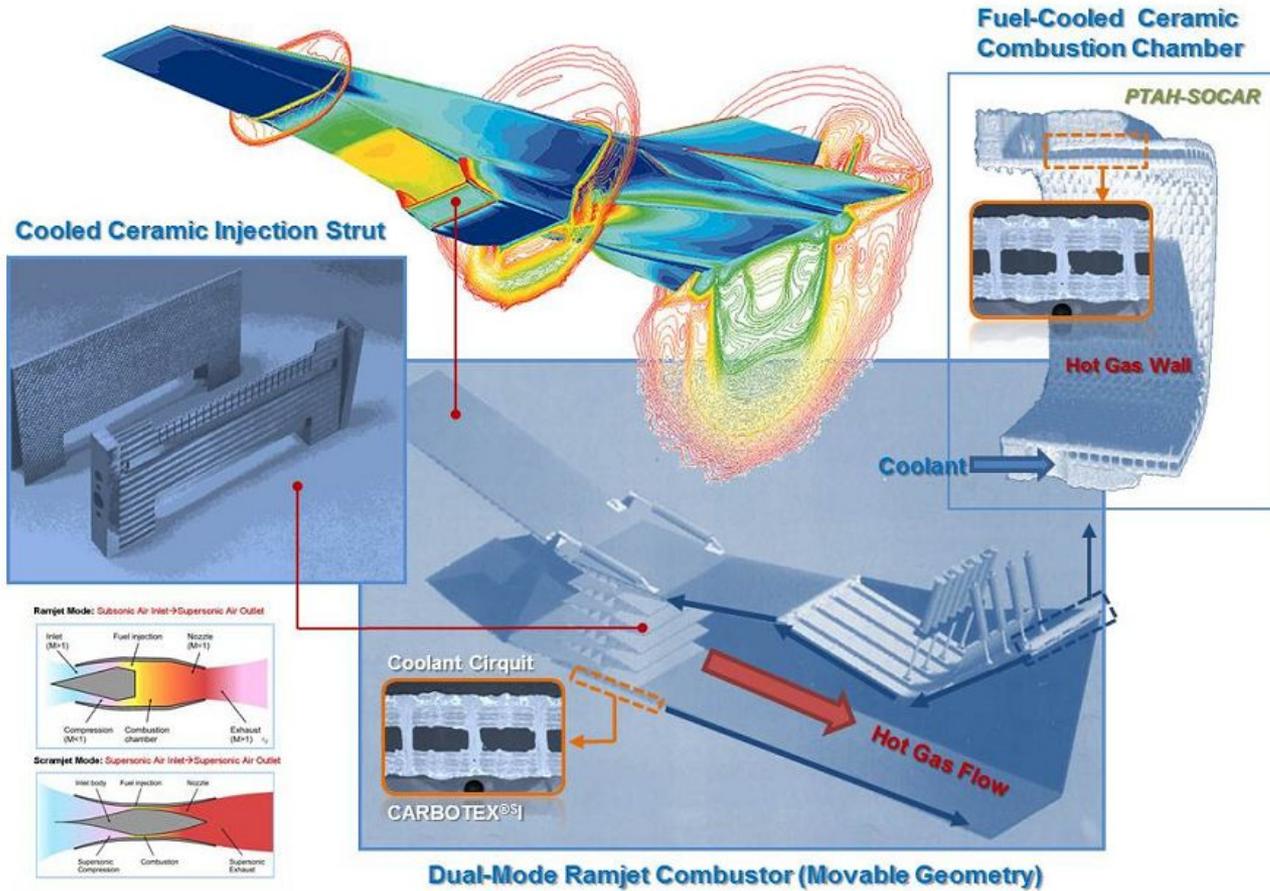
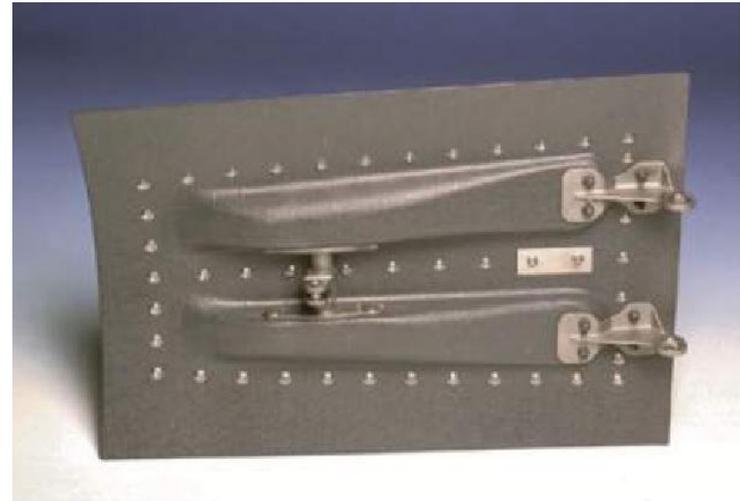
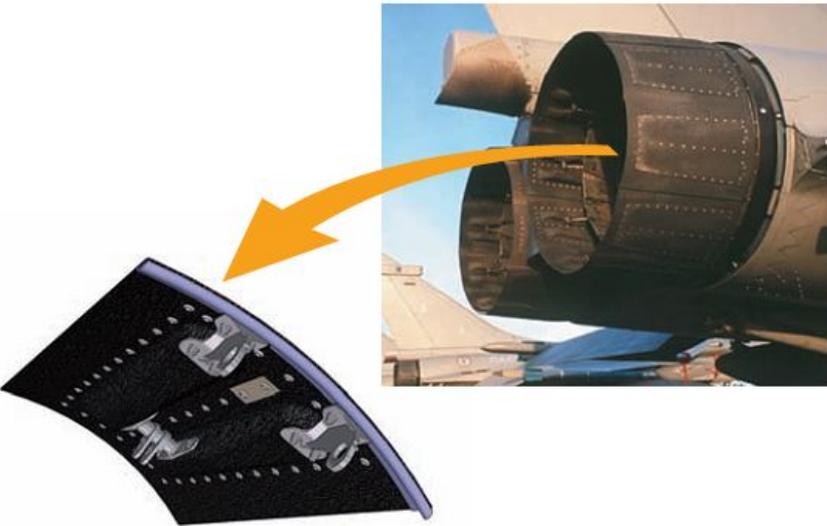


Fig 9 – Leading edge samples (0.75 mm radius ) after test

# Применение ККМ в ТРД



SiC-SiC nozzle flap

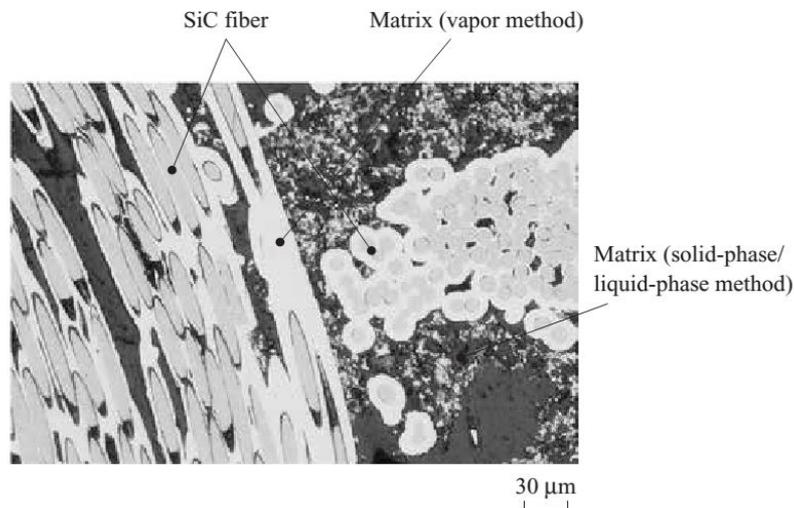
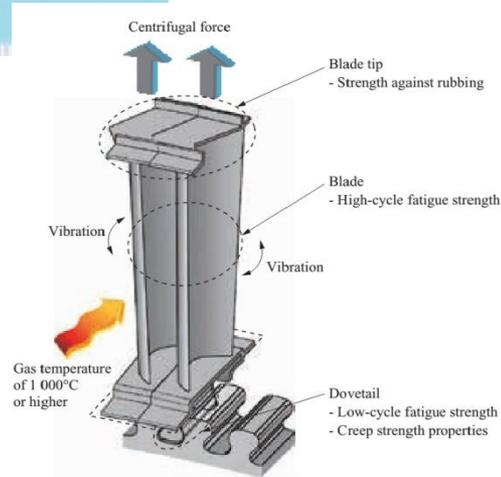
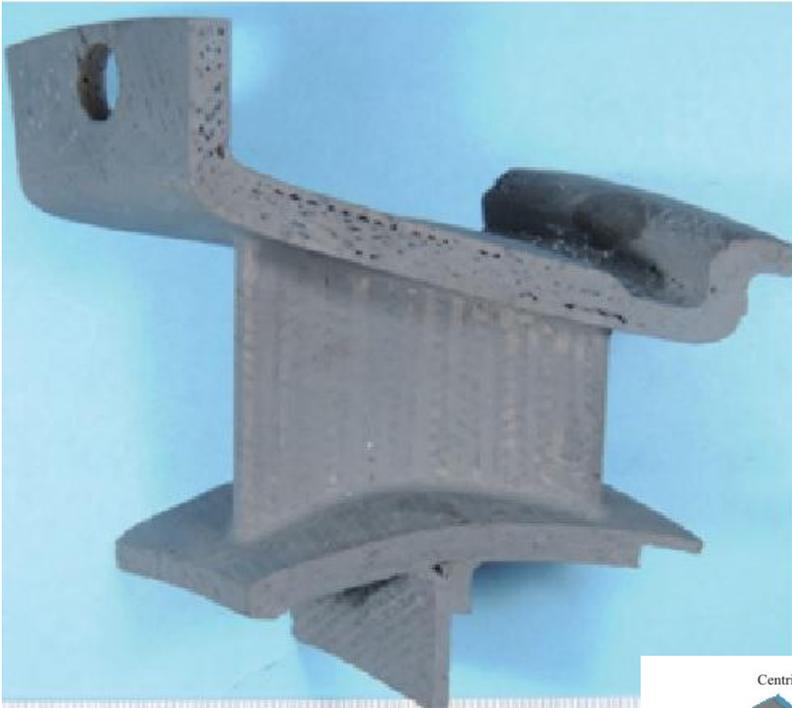
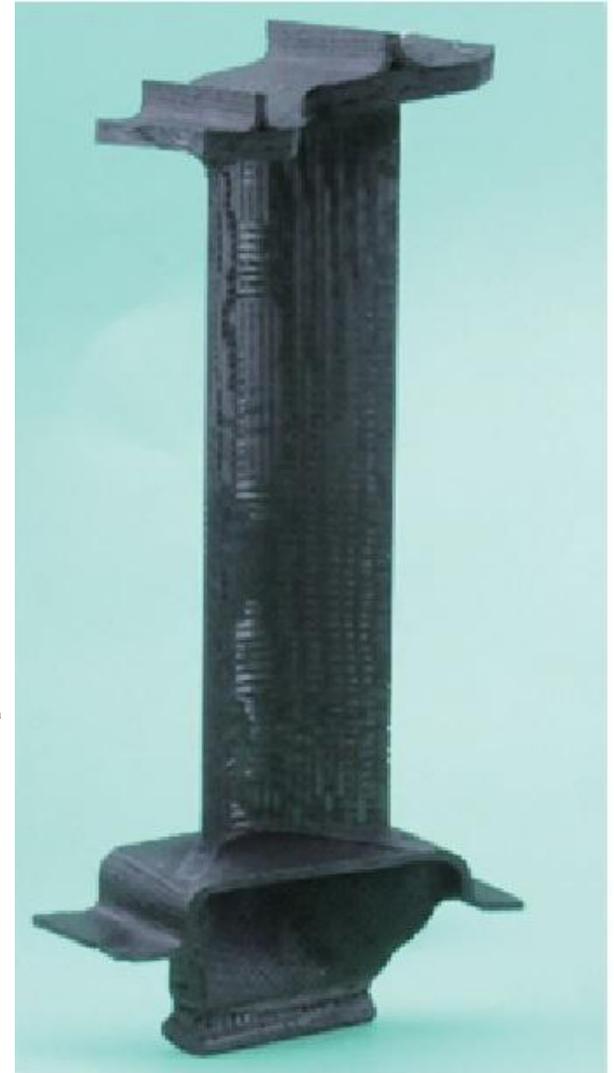


Fig. 2 Micro structure of CMC

# Применение КЖМ в ТРД



Configuration of turbine blades and their main issues



# Заключение

- **НМКМ находят всё большее применение в деталях и узлах ДЛА в качестве материалов конструкционного и функционального назначения;**
- **повышение ТТХ, снижение веса конструкции, повышение экологичности, экономичности, снижение шумности (АД);**
- **дальнейшее совершенствование технологии получения компонентов НМКМ, а также самих технологий получения НМКМ обуславливает снижение стоимость изготовления ДЛА из них, повышение их технологичности и качества.**