

# Композиционные материалы

Часть 2, курс лекций: «Стеклокристаллические и композиционные материалы на основе стекла»



# Основные закономерности

Лекция 6 Методы получения КМ

# Предварительный выбор материала.

Предварительный выбор материала опирается на следующую информацию:

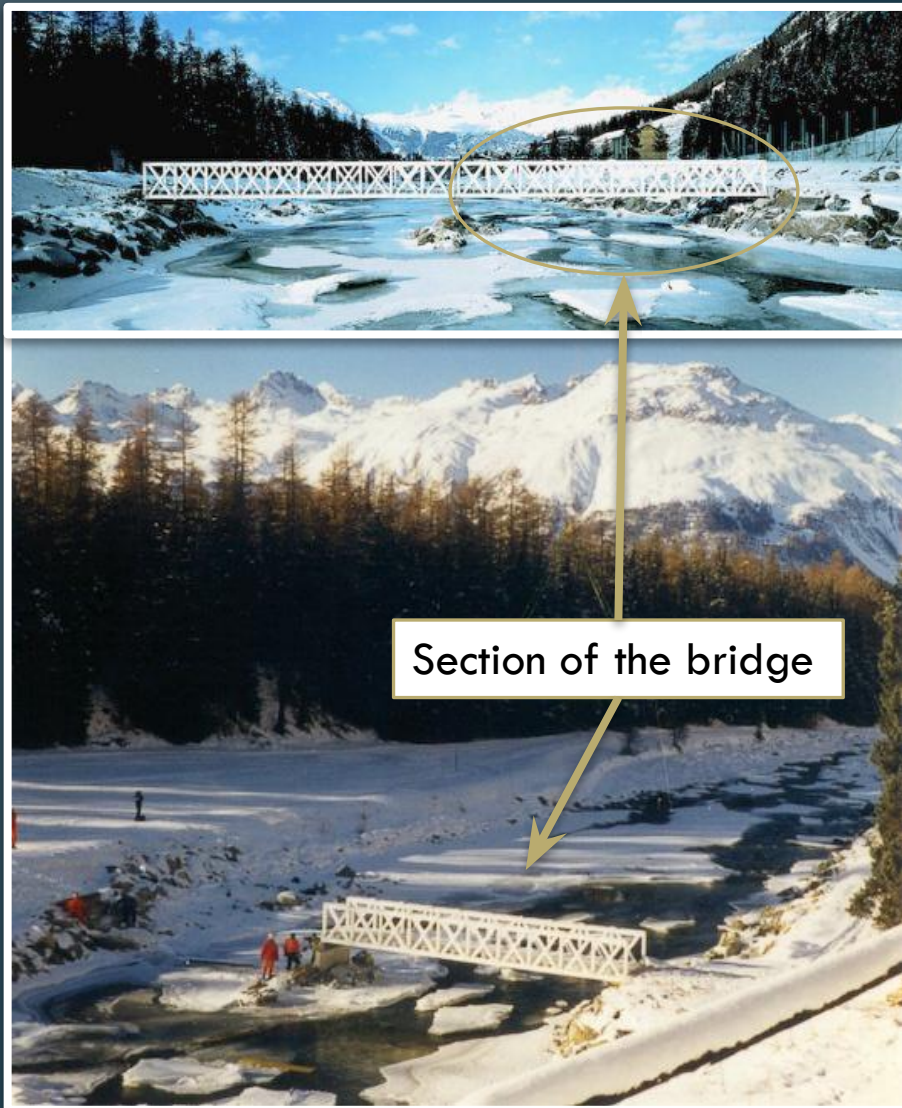
1. *Вид нагружения детали* (например, *растяжение, сжатие, кручение или сложное сопротивление*).
2. *Метод приложения нагрузки* (например, *статический, усталость, удар и т.д.*).
3. *Срок эксплуатации*.
4. *Условия эксплуатации* (*температура, влажность, наличие агрессивных сред и т.д.*).
5. *Граничные условия*, включающие соседние детали, контактирующие с данной.
6. *Метод изготовления детали*.
7. *Стоимость* (включающая не только стоимость изготовления детали, но и затраты на транспортировку и монтаж)



# Предварительный выбор материала.

Пример – мост в Альпах, состоящий из двух одинаковых секций:

- Вид нагружения – изгиб
- Метод приложения нагрузки – статическое нагружение
- Срок эксплуатации – более 50 лет
- Условия эксплуатации – температура и влажность
- Граничные условия для одной из секций моста – соседняя секция и каменное основание
- Метод изготовления - ???
- Стоимость - стоимость изготовления секций, а также затраты




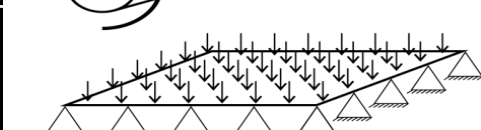
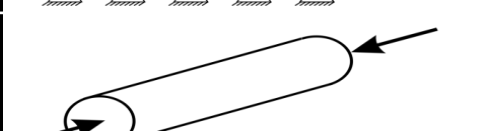


на

транспортировку и сборку

# Предварительный выбор материала.

При разработке конструкций с минимальной массой или стоимостью, механические свойства материала обычно комбинируют с плотностью и, иногда, стоимостью. Такие комплексные оценки свойств материала называют индексом материала.

Конструкция	Индекс материала для конструкции с минимальной массой $\frac{\sigma_{UTS}}{\rho}$	
	расчет на жесткость	расчет на прочность
	$\frac{E}{\rho}$	$\frac{\sqrt{\sigma_{UTS}}}{\rho}$
	$\frac{\sqrt[3]{E}}{\rho}$	$\frac{\sqrt{\sigma_{UTS}}}{\rho}$
	$\frac{\sqrt{G}}{\rho}$	$\frac{\sqrt[3]{\tau_{UTS}^2}}{\rho}$
	$\frac{\sqrt[3]{E}}{\rho}$	$\frac{\sqrt{\sigma_{UTS}}}{\rho}$
	$\frac{\sqrt{E}}{\rho}$	$\frac{\sigma_{UTS}}{\rho}$

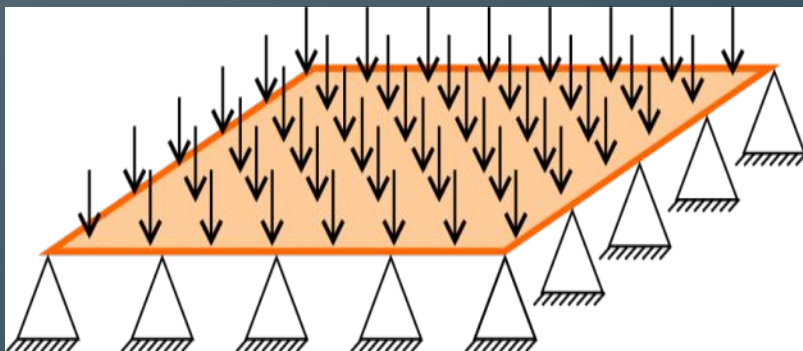
## Предварительный выбор материала.

Материал	Плотность , г/см <sup>3</sup>	Модуль упругости*, ГПа	Прочность при растяжении*, МПа
<b>Традиционные материалы</b>			
SAE 1010 сталь	7.87	207	365
AISI 4340 сталь	7.87	207	1722
<b>6061-T6 алюминиевый сплав</b>	<b>2.70</b>	<b>68.9</b>	<b>310</b>
7178-T6 алюминиевый сплав	2.70	68.9	606
<b>Ti-6Al-4V титановый сплав</b>	<b>4.43</b>	<b>110</b>	<b>1171</b>
17-7 PH нержавеющая сталь	7.87	196	1619
INCO 718 никелевый сплав	8.20	207	1399
<b>Композиты</b>			
Высокопрочный углепластик (однонаправленный)	1.55	137.8	1550
Высокомодульный углепластик (однонаправленный)	1.63	215	1240
E-glass стеклопластик (однонаправленный)	1.85	39.3	965
Kevlar 49 (однонаправленный)	1.38	75.8	1378
Волокна бора - 6061 A1 сплав	2.35	220	1109
<b>Квази-изотропный углепластик</b>	<b>1.55</b>	<b>45.5</b>	<b>579</b>
ХАСП (изотропный материал)	1.87	15.8	164

# Предварительный выбор материала.

Пример:

Из расчета на жесткость выбрать наилучший материал для панели самолета с минимальной массой, работающей на изгиб:



- a) квази-изотропный углепластик
- b) алюминиевый сплав 6061-T6
- c) титановый сплав Ti-6Al-4V

# Предварительный выбор материала.

Пример:

Из расчета на жесткость выбрать наилучший материал для панели самолета с минимальной массой, работающей на изгиб:

Решение:

a) квази-изотропный  
углепластик

$$\frac{\sqrt[3]{E} \text{Па}}{\rho} = \frac{\sqrt[3]{45,5} \text{ Па}}{1,55 \text{ г/см}^3} = 2,30 \frac{\sqrt[3]{\text{Па}} \cdot \text{см}^3}{\text{кг}}$$

b) алюминиевый сплав  
6061-T6

$$\frac{\sqrt[3]{E} \text{Па}}{\rho} = \frac{\sqrt[3]{68,9} \text{ Па}}{2,7 \text{ г/см}^3} = 1,52 \frac{\sqrt[3]{\text{Па}} \cdot \text{см}^3}{\text{кг}}$$

c) титановый сплав

Ti-6Al-4V

$$\frac{\sqrt[3]{E} \text{Па}}{\rho} = \frac{\sqrt[3]{110} \text{ Па}}{4,43 \text{ г/см}^3} = 1,08 \frac{\sqrt[3]{\text{Па}} \cdot \text{см}^3}{\text{кг}}$$

Ответ: наилучшим материалом является **квази-изотропный углепластик**, так как он имеет наибольший индекс материала для конструкции с минимальной массой



# Основные принципы методов получения КМ

- Выбор метода получения композиции из различных сочетаний матрицы и наполнителя определяется следующими факторами:
  - размерами, профилем и природой исходных материалов матрицы и наполнителя;
  - возможностью создания прочной связи на границе раздела «матрица —наполнитель»;
  - получением равномерного распределения частиц или волокон в матрице;
  - возможностью совмещения процессов получения композиционного материала и изготовления из него деталей;
  - экономичностью процесса.

# Классификация КМ по методам получения

- КМ делятся на материалы, полученные жидкофазными и твердофазными методами, а также методами осаждения — напыления, комбинированными методами.
- К твердофазным методам получения КМ относятся прессование, прокатка, экструзия, ковка, штамповка, уплотнение взрывом, диффузионная сварка, волочение и др.
- Композиционные материалы, получаемые твердофазными методами, используются в виде порошка или тонких листов.
- К жидкофазным методам относятся пропитка (пропитка арматуры полимерами или расплавленными металлами) и направленная кристаллизация сплавов.
- .

- Химические (связанные с химическим, электрохимическим и термохимическим осаждением);
- Газо- и парофазные (связанные с конденсацией из газовой и паровой фазы);
- При получении КМ методами осаждения – напыления матрица наносится на волокна из растворов солей или других соединений, из парогазовой фазы, из плазмы и т.п.
- Комбинированные методы заключаются в последовательном или параллельном применении нескольких методов. Например, в качестве предварительной операции может использоваться плазменное напыление, а в качестве окончательной операции – прокатка или диффузионная сварка.

# Технология композитов: основные стадии

- **Подготовка наполнителя** (выбор типа наполнителя, очистка поверхности и сортировка дисперсного (дискретного) наполнителя, очистка поверхности волокна);
- **Подготовка матрицы** (синтез, помол, рассев на фракции, определение фракционного состава)
- **Совмещение матрицы и наполнителя:**
  - - **твердофазные** (методы порошковой металлургии и керамические технологии, в том числе совместная пластическая деформация матрицы и волокон, диффузионная сварка, динамическое горячее прессование, сварка взрывом);
  - - **жидкофазные** (пропитка расплавом матрицы пористого каркаса, образованного в объеме формы укладкой отдельных волокон, пучков волокон, матов из волокон или нитевидных кристаллов)
  - **молекулярные** (за счет осаждения на поверхность НК молекул, соответствующих составу матрицы, из паровой фазы или из раствора).

# Твердофазные методы получения КМ

Твердофазные способы заключаются в предварительном совмещении (объединении) армирующих элементов и матрицы и их последующем компактировании в изделие с помощью горячего прессования,ковки, прокатки, диффузионной сварки,экструзии и других методов.

Для изготовления композиционных материалов, армированных высокопрочными частицами, непрерывными и короткими волокнами, а также матами и сетками из волокон, наибольшее применение находят твердофазные методы порошковой металлургии.

Эти методы позволяют получать композиты с заданной пористостью, в широком диапазоне изменять концентрацию упрочняющего компонента. Недостатки этих методов - трудности равномерного распределения армирующей фазы в объеме матрицы в ходе подготовки шихты, а также возможность повреждения хрупких волокон при компактировании.

# Твердофазные методы: основные стадии

- механическое смешивание матричного порошка с наполнителем;
- формование заготовки из композитной порошковой смеси методами прессования, экструзии, горячего шликерного литья или литья из водных суспензий;
- горячее прессование или спекание заготовки.

горячему прессованию или горячему изостатическому прессованию можно подвергать композитную порошковую смесь.

хрупкие НК ( $\text{SiC}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) смешивают с матричным порошком через водные суспензии этих компонентов во избежание разрушения наполнителя

# Композиционные материалы с металлической матрицей МКМ

• Методы порошковой металлургии. Основные стадии:

- подготовка шихты :

- получение равномерных смесей матричного порошка с дискретными волокнами (механическое смешивание в барабанных смесителях с эксцентрической осью, смесителе типа «пьяная бочка», в шаровой или планетарной мельнице);

- равномерное распределение непрерывных волокон в матричном порошке путем укладывания их в форме с заданным шагом с последующей засыпкой матричного порошка.

- формование изделий - методы получения изделий заданной формы:

- **прессование** в стальных пресс-формах;

- **гидростатическое прессование** (шихту помещают в эластичную оболочку (резина, свинец) и подвергают всестороннему гидростатическому сжатию в герметичных камерах высокого давления (100 – 1200 МПа), в качестве рабочих жидкостей используют воду, глицерин, масло);

## продолжение

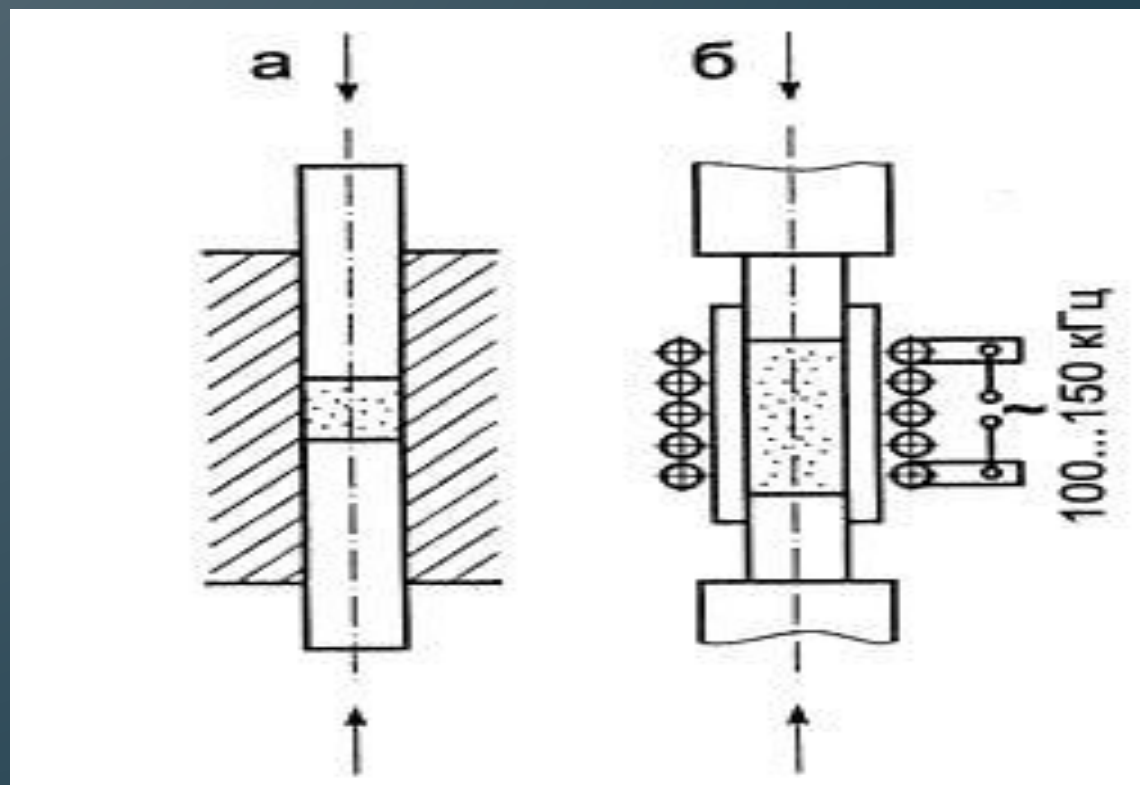
- - **экструзия** – *первый способ*: шихта с пластификаторами (бакелит, парафин, метилцеллюлоза), обжимается в камере экструдера и продавливается через мундштук, имеющий на выходе сечение, соответствующее форме получаемого изделия; *второй способ*: через мундштук продавливают нагретые спеченные заготовки, полученные прессованием шихты;
- - **прокатка** шихты - производится на прокатных станах и позволяет получать армированные изделия больших размеров по длине и ширине
- **шликерное литье** - осуществляют из водной суспензии (водного шликера) в гипсовые формы, либо из парафинового шликера в металлические формы (это так называемый метод горячего шликерного литья).



## продолжение

- **термообработка с целью спекания изделий** - в печах сопротивления в атмосфере водорода, инертных газов, в вакууме при нагреве до температуры 0,7 – 0,8 от температуры плавления матрицы.
- **горячее прессование** - совмещение процессов прессования и спекания (горячее прессование иногда называют спеканием под давлением). Температура горячего прессования обычно составляет 0,5 – 0,8 от температуры плавления матрицы.
- **совместная пластическая деформация матрицы и волокон** - совмещение деформируемых матричных металлов или сплавов с металлическими волокнами путем обработки давлением предварительно собранной прокаткой, прессованием или экструзией заготовки (совместная пластическая деформация не должна приводить к разрушению волокон) .

**Схема установки, осуществляющей двустороннее прессование порошковых материалов: а – без нагрева, б – с нагревом.**



# Гидростатическое формование

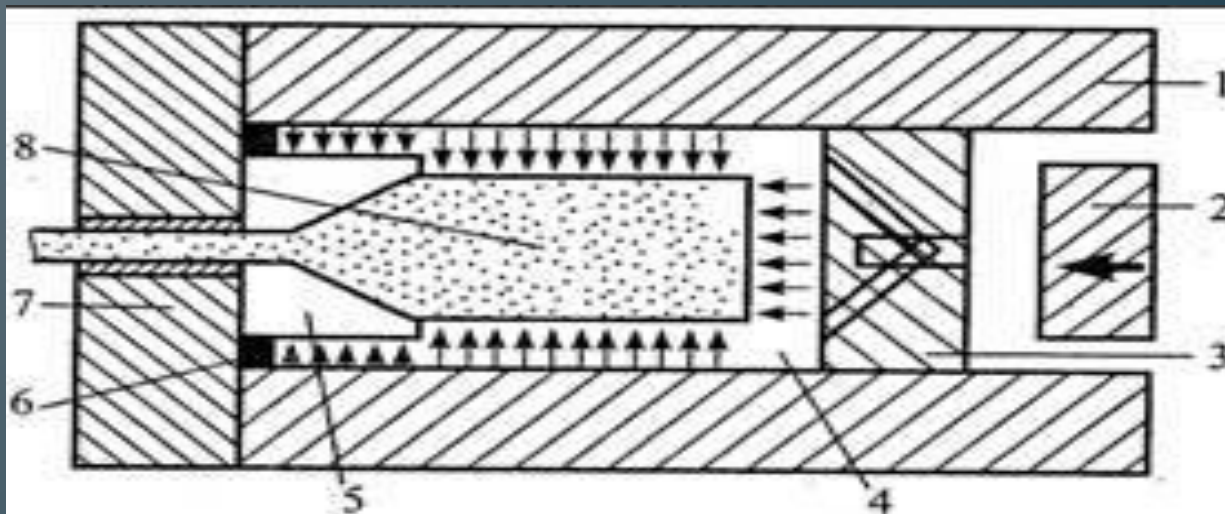
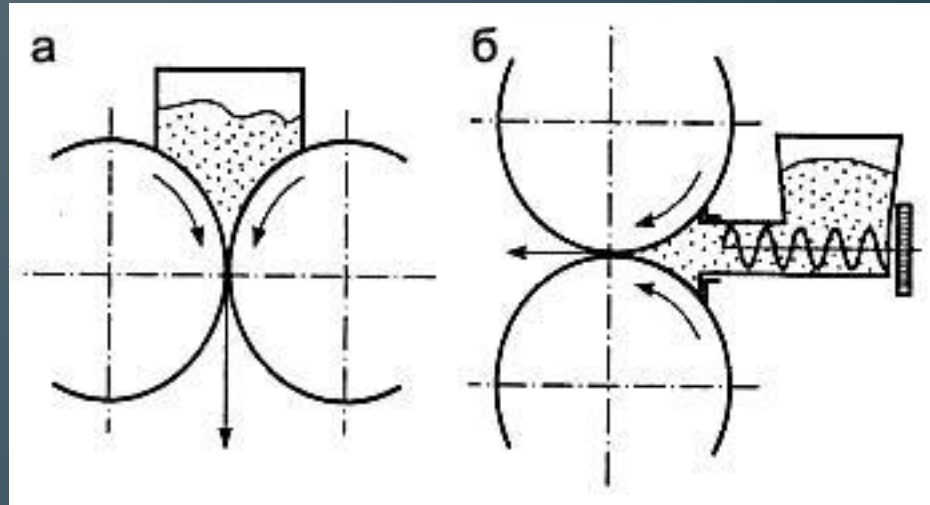


Схема установки для гидростатического формования: 1 – рабочий цилиндр; 2 – пуансон; 3 – пресс-шайба; 4 – рабочая жидкость; 5 – матрица; 6 – уплотнитель; 7 – держатель матрицы; 8 – контейнер с шихтой.

При формовании гидростатическим способом порошок предварительно засыпается в эластичный контейнер и подвергается вакуумированию, герметизируется и лишь после этого помещается в цилиндр с рабочей жидкостью, давление в котором поднимается до необходимых значений. Поскольку трение между стенками контейнера и частицами шихты оказывается предельно минимальным, плотность спрессованной заготовки равномерно распределяется по каждому из сечений.

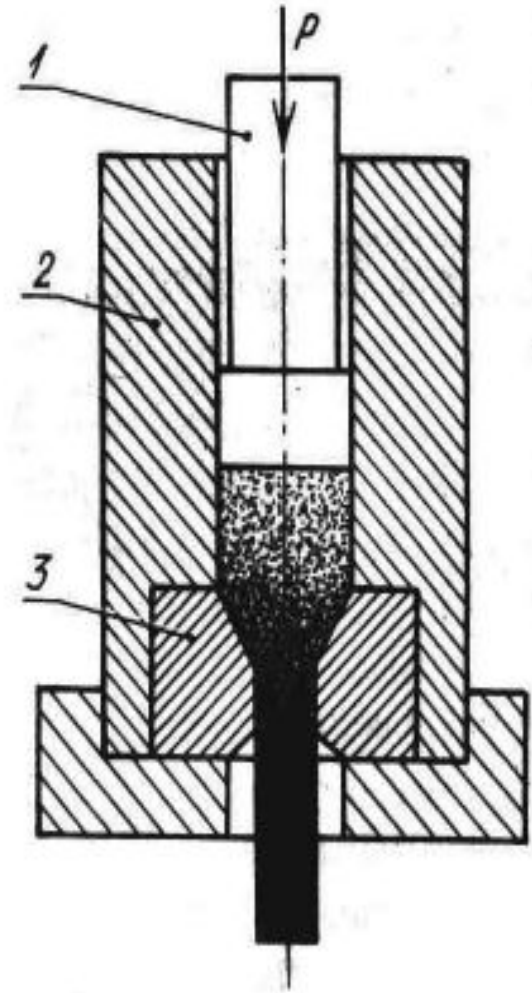
# Прокатка порошков



Формование прокаткой порошков осуществляется на прокатных станах. Порошок может поступать в валки либо под воздействием силы тяжести (вертикальная свободная подача), либо в принудительном режиме (шнековая подача).

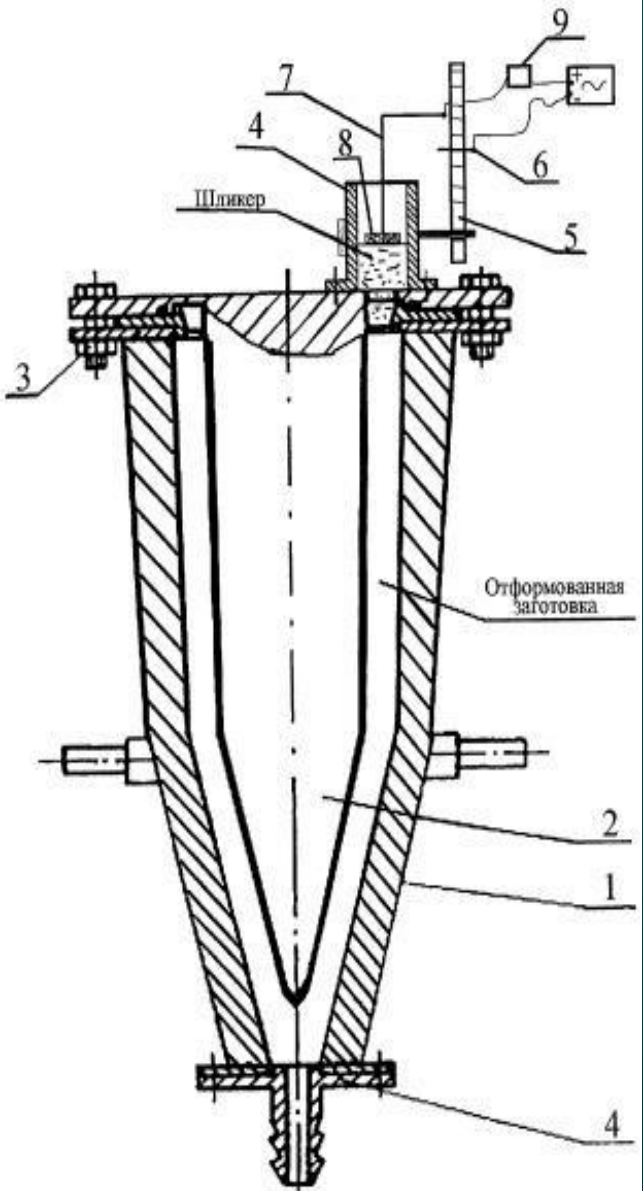
## • Мундштучное формование

- Способ заключается в формовании заготовок из шихты в смеси с пластификатором путем пропускания сквозь технологическое отверстие в матрице-фильере, по форме напоминающей мундштук. (контейнер (2) пуансон (1) отверстие матричного мундштука (3)).
- Способ инъекционного формования, (литье под давлением) сходен с принципом мундштучного прессования, только в данном случае через фильеру инжектора (мундштука) в пресс-форму впрыскивается не пластифицированный порошок, а его



# Шликерное литье

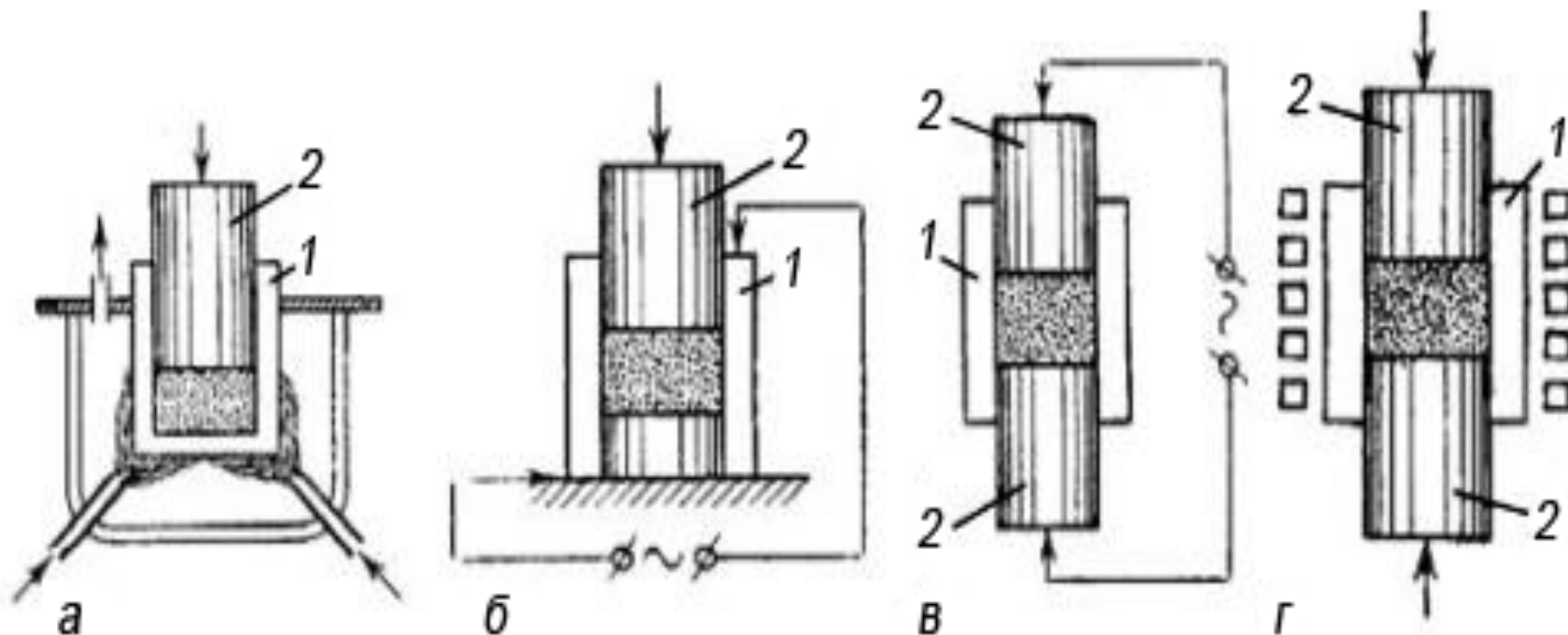
- В корпусе матрицы (1) размещается сердечник (2), закрепленный узлами взаимной соосной установки (3). На одном из этих закреплен подпиточная емкость (4) с контролирующим устройством, через которую промежуток между матрицей и сердечником заполняется шликерной суспензией. Поступление шликера из подпиточного узла до необходимых пределов осуществляется за счет контроля высоты между неподвижным нижним контактом (6) и выставляемым по линейке (5) подвижным верхним контактом (7), жестко связанным с поплавком поплавковой камеры (8), при превышении уровня включающим сигнализационный блок (9).



# Горячее прессование

- Способ одновременного прессования и спекания называют горячим прессованием. При этом формовка заготовки из многокомпонентной шихты проводится с ее нагревом до высоких температур, и  $T^\circ$  нагрева при этом достигает  $T^\circ$  плавления основного компонента, в это же время происходит спекание заготовки.
- Важнейшие преимущества горячего прессования состоят в скорейшем уплотнении получаемого данным способом готового изделия и минимизации его пористости при относительно невысоких показателях применяемого давления. Характер уплотнения при горячем формовании тот же, что и при спекании другими способами.
- Горячее прессование осуществляют с использованием термостойких стальных, графитовых и кремнеграфитовых пресс-форм, характеризующихся высокой механической прочностью. В последние годы все более востребованными для этой цели становятся еще более функциональные пресс-формы из жаропрочных оксидных и силикатных материалов.

# Способы нагрева пресс-форм с шихтой при горячем прессовании



а – способ наружного нагрева;

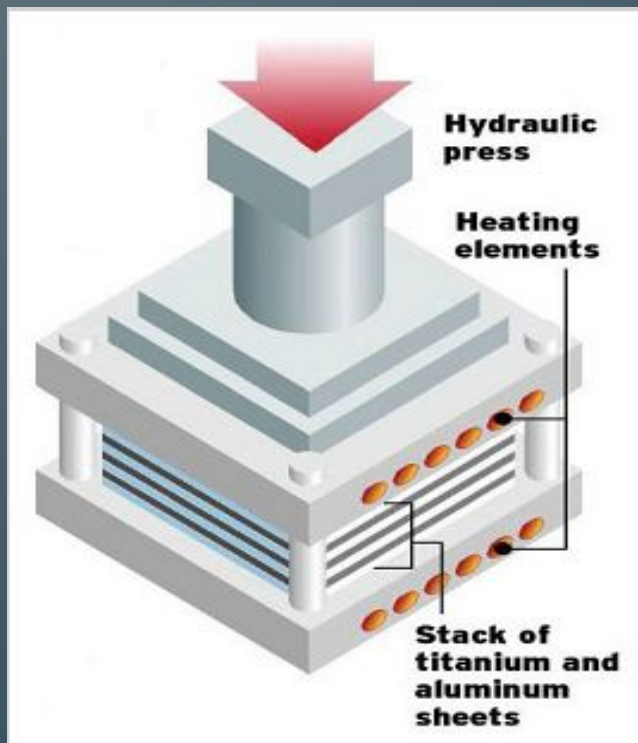
б – способ электронагрева пресс-формы;

в – способ электронагрева шихты;

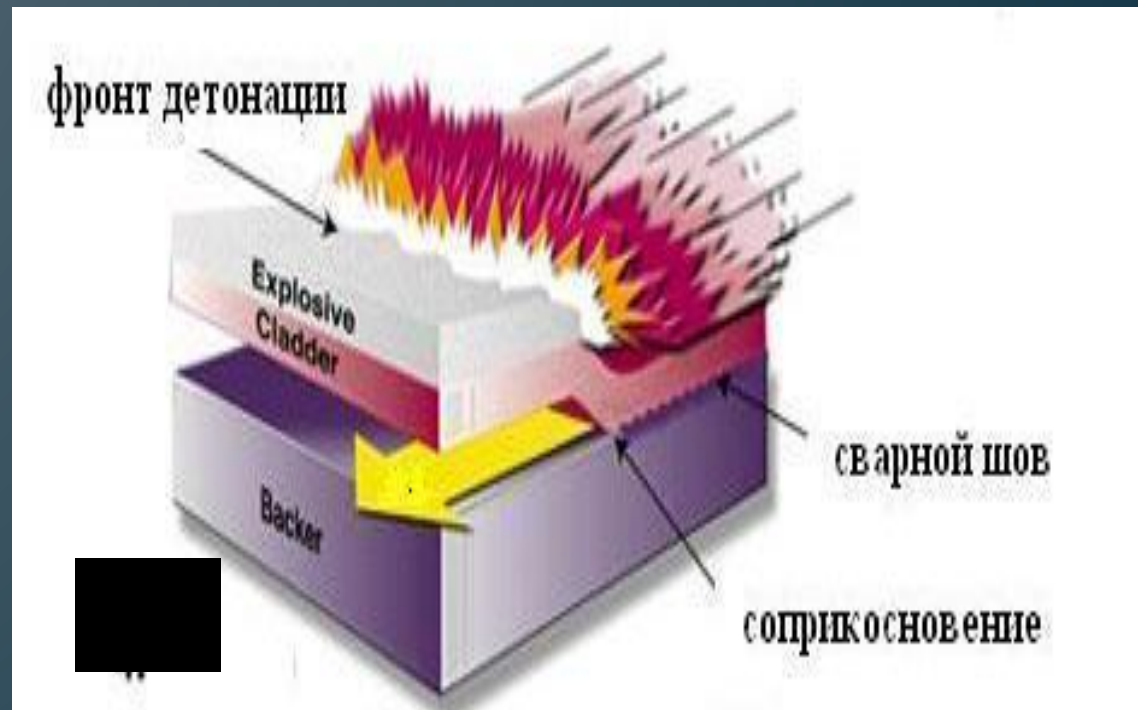
г – способ высокочастотного индукционного нагрева (1 - матрица, 2 – пуансон).



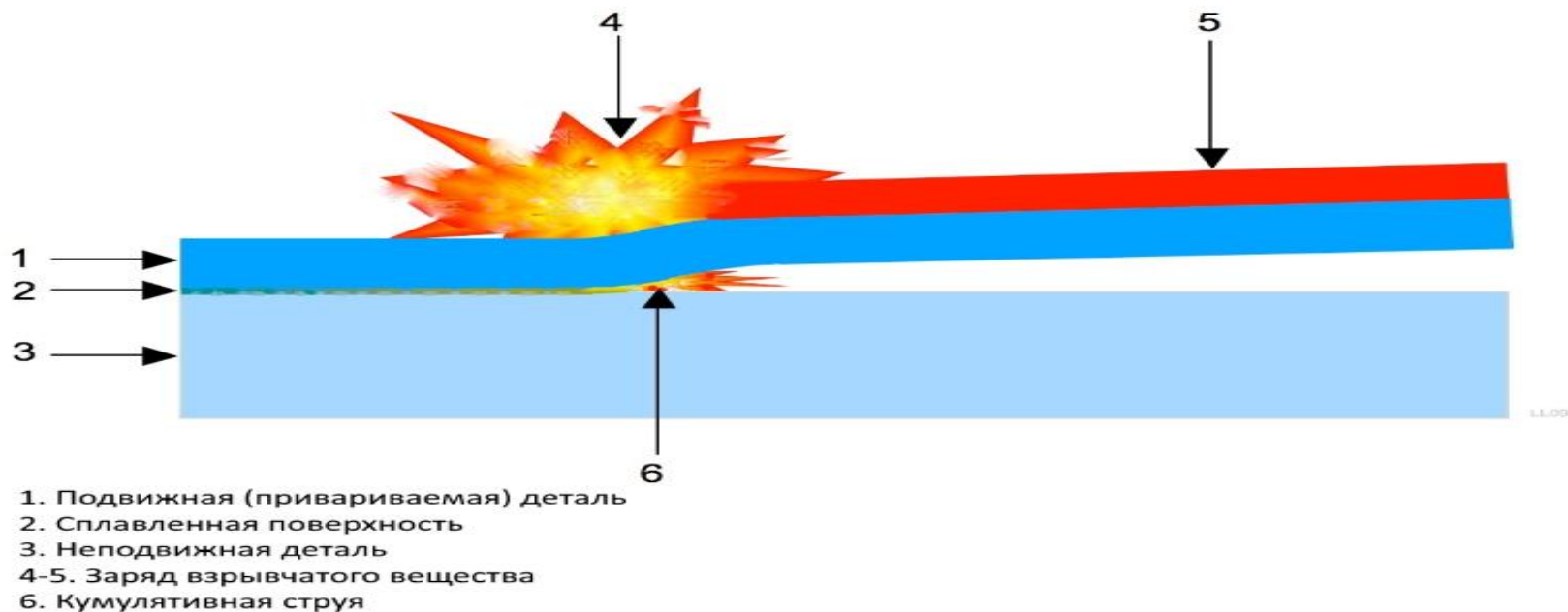
# Сварка взрывом и диффузная сварка



Диффузионная сварка



Сварка взрывом



- **Сварка взрывом, или взрывная сварка** — метод сварки на основе использования энергии взрыва;
- При сварке взрывом привариваемая деталь располагается под углом к неподвижной детали-мишени (основанию) или параллельно ей (в большинстве случаев) и приводится в движение контролируемым взрывом, в результате чего с большой скоростью соударяется с ней; соединение образуется за счет совместной пластической деформации поверхностей. При этом из-за скоротечности процесса не успевает развиваться объемная диффузия, вследствие чего этот вид сварки применим для соединения разнородных металлов и сплавов.

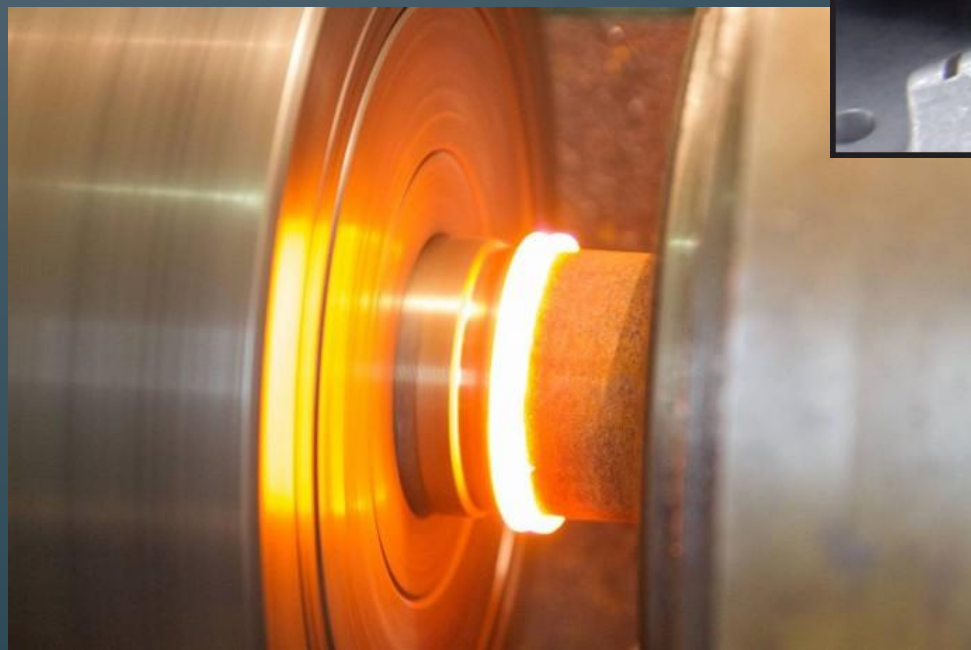
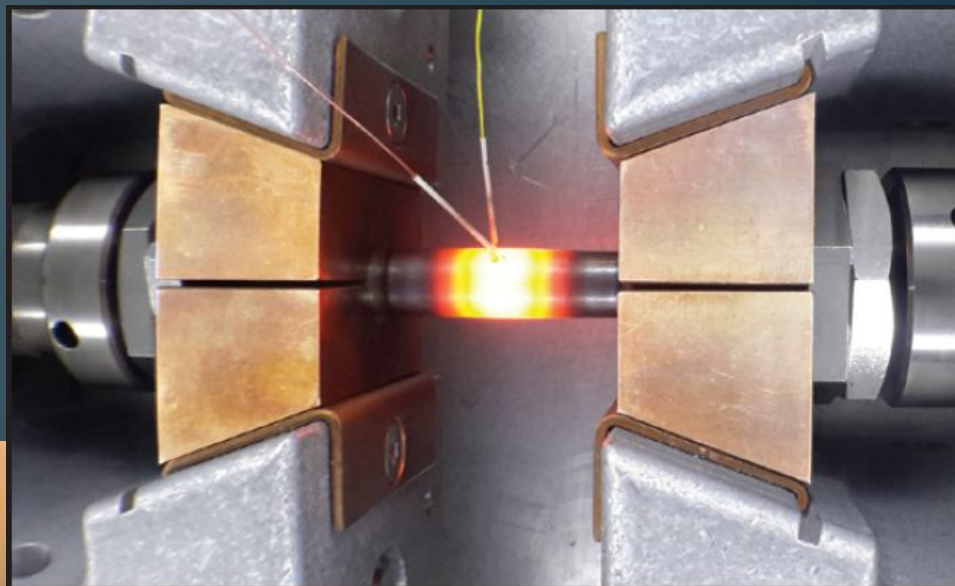
# Сварка взрывом (биметалл)



# Диффузная сварка

- **Диффузионная сварка** — сварка за счёт взаимной диффузии на атомарном уровне свариваемых поверхностей деталей.
- Диффузионная сварка производится воздействием давления и нагревом свариваемых деталей в защитной среде. Перед сваркой поверхность детали обрабатывают по 6 классу шероховатости и промывают для обезжиривания ацетоном.
- Температура нагрева составляет 0,5 – 0,7 от температуры расплавления металла свариваемых деталей. Высокая температура обеспечивает большую скорость диффузии и большую пластичность деформирования металла. При недостаточной диффузии в сварке используют металлические прокладки (фольга из припоя ВПр7 толщиной 0,1 – 0,06 мм.) или порошок, прокладываемые в месте сварки. В процессе сварки прокладка расплавляется.
- Процесс сварки осуществляется с использованием разных источников нагрева. В основном применяют индукционный, радиационный, электронно-лучевой нагрев, нагрев проходящим током, тлеющим разрядом или в расплаве

# Диффузная сварка



# Жидкофазные методы

- Жидкофазные методы обладают рядом существенных преимуществ, главные из которых: возможность получения композиционных изделий сложной конфигурации с минимальной последующей механической обработкой либо вообще без нее; ограниченное силовое воздействие на хрупкие компоненты; широкая номенклатура компонентов, используемых для создания композитов; упрощенное аппаратное обеспечение; высокая производительность; возможность механизации, автоматизации и реализации непрерывных технологических процессов. Кроме этого, при помощи жидкофазного метода можно изготавливать такие композиции, которые другими методами либо невозможно изготовить, либо нерационально. С использованием литейных технологий композиционные материалы получают двумя способами: соединением твердой и жидкой фаз, а также

- Процесс соединения твердой и жидкой фаз осуществляется в следующем порядке:
- размещение (укладка, установка) армирующих элементов в полость литейной формы перед заливкой матричным расплавом ( I—III);
- заливка в литейную форму гетерогенного матричного расплава, содержащего армирующие элементы, приготовленного в специальном агрегате (ковше) (IV); введение армирующих элементов в матричный расплав в процессе заливки его в кристаллизатор или в литейную форму ( V, X);
- сборка (намотка) армирующих элементов в присутствии жидкого матричного сплава (IX).

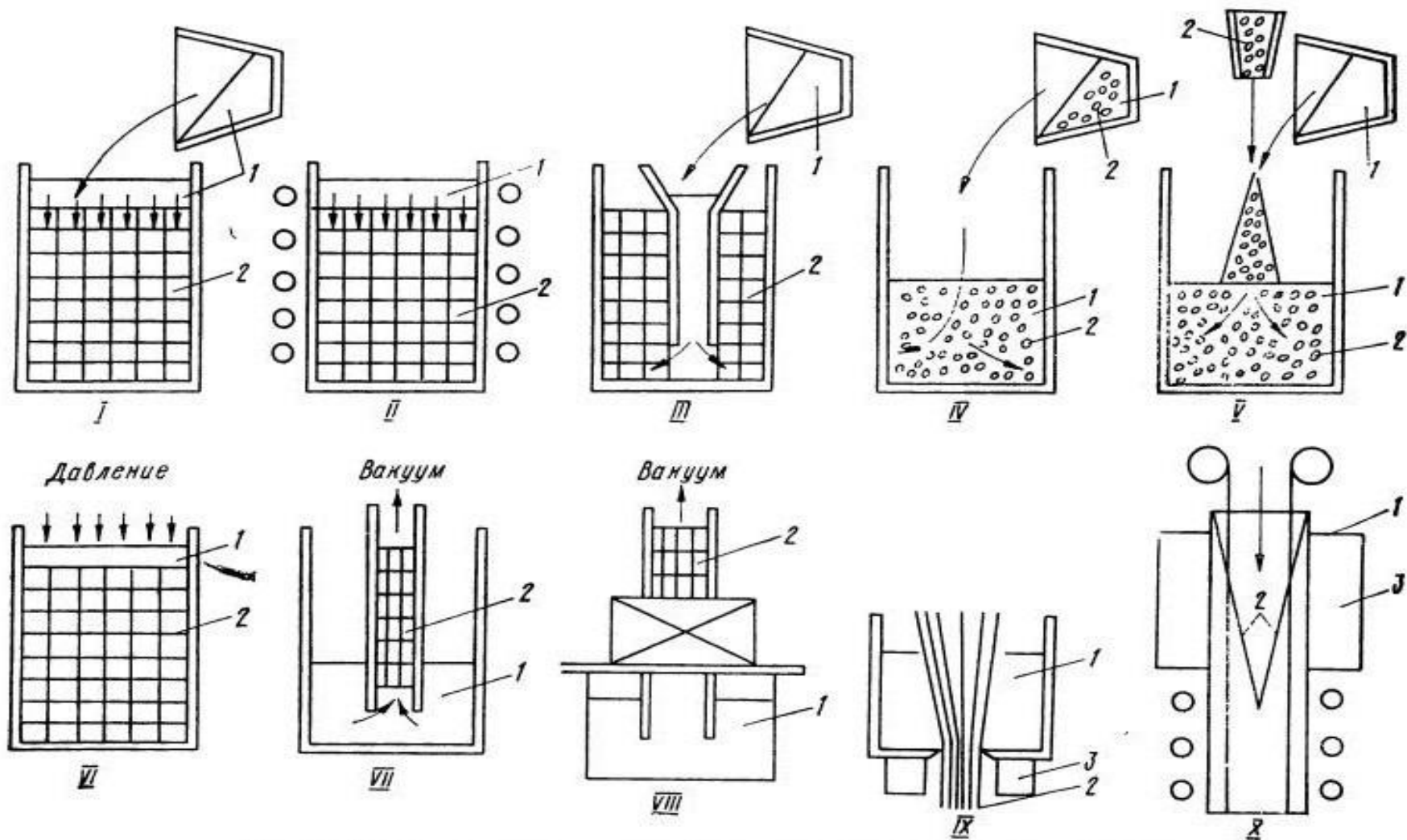


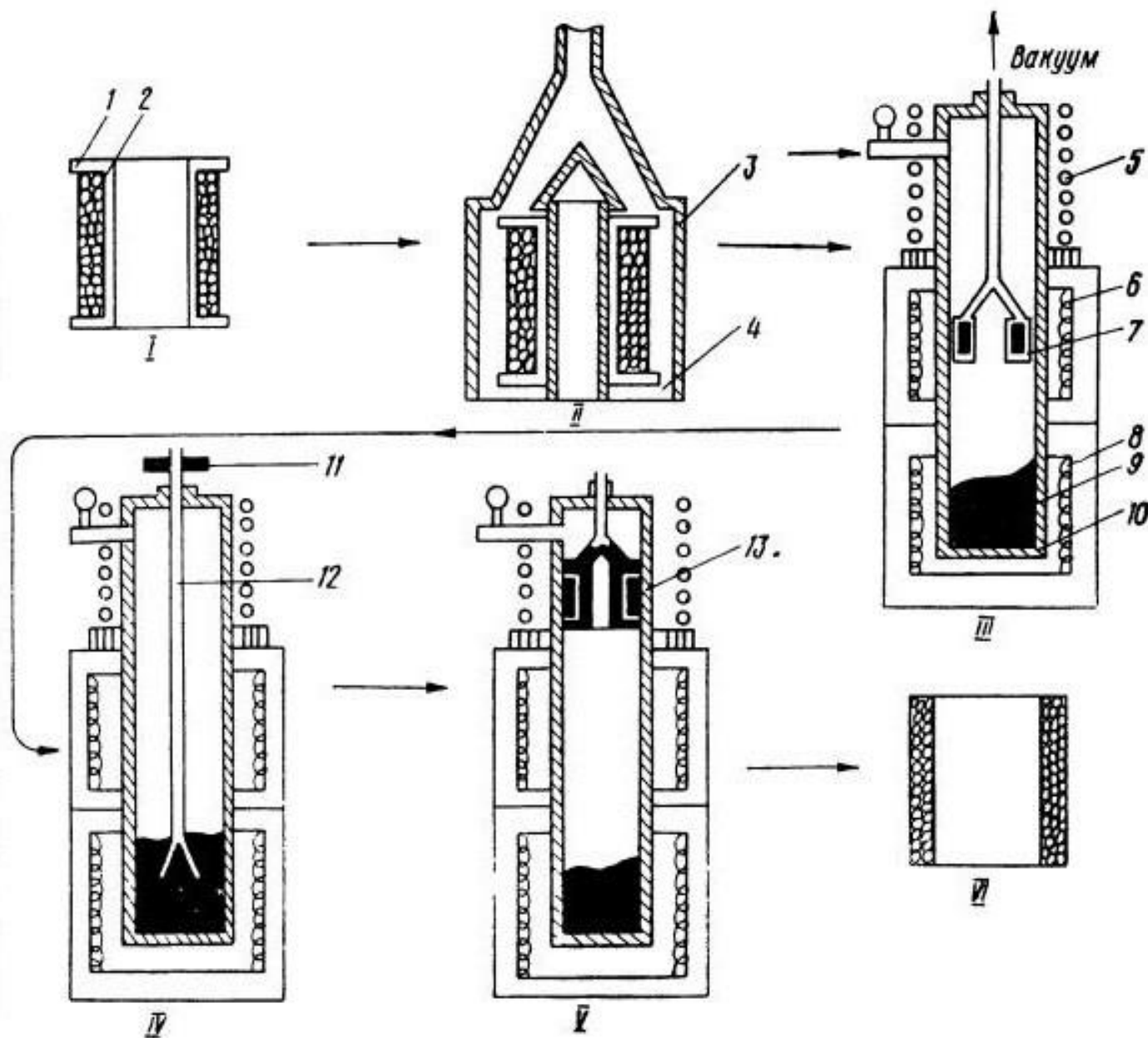
Рис. 1. Схемы получения изделий из композитов методами литья: I — заливка матричным расплавом литейной формы с предварительно установленной арматурой; II — изотермическая пропитка; III — сифонная заливка арматуры матричным расплавом; IV — литье гетерогенного расплава; V — суспензионная заливка; VI — литье под давлением; VII — литье вакуумным всасыванием; VIII — литье с комплексным электромагнитным и вакуумным воздействием; IX — пропитка способом непрерывного литья; X — непрерывное литье с вводом нерасплавляющейся арматуры (1 — расплав; 2 — армирующие элементы; 3 — кристаллизатор).



- Технологический процесс получения изделий жидкофазным совмещением компонентов состоит из следующих основных этапов:
- подготовки компонентов (калибровка, очистка и плакирование поверхности, придание армирующей конструкции необходимой формы, конфигурации);
- сборки, размещения в полости формы арматуры или ввод армирующих элементов в расплав;
- заливки матричным расплавом,
- пропитки;
- выдержки для затвердевания жидкой фазы в условиях наложения внешних воздействий либо без них;
- выемки из формы;
- термической и механической обработки композиционных изделий.

Рис. 2. Последовательность изготовления изделия из композита методом вакуумно-компрессионного литья:

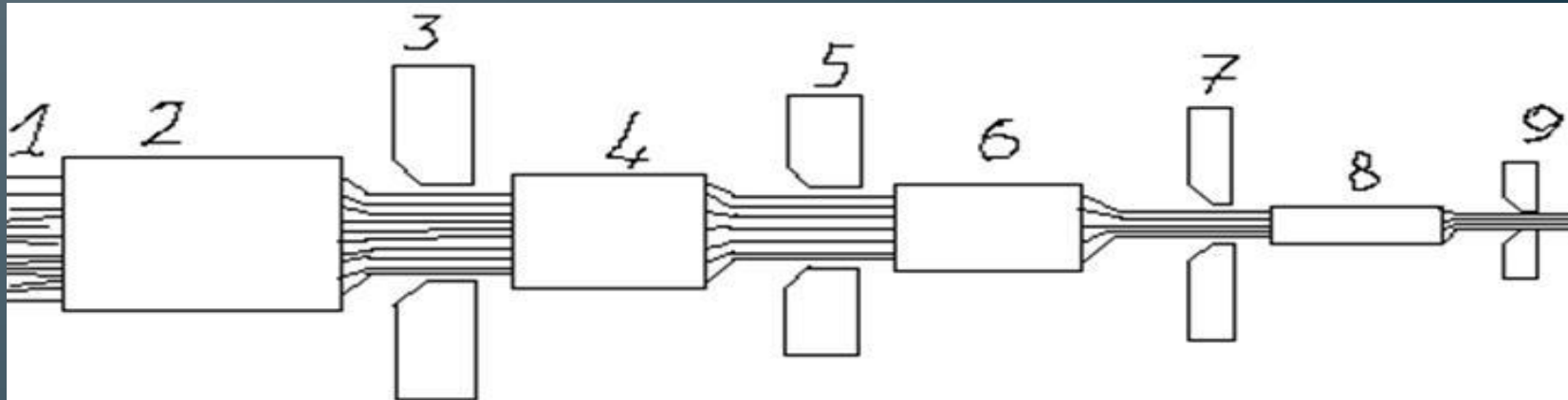
*I* — намотка армирующих волокон на цилиндрическую основу;  
*II* — установка арматуры в литейную форму; *III* — предварительный нагрев;  
*IV* — пропитка матричным расплавом;  
*V* — охлаждение;  
*VI* — выем готового изделия; 1 — основа детали; 2 — армирующее волокно; 3 — вакуумируемая литейная форма; 4 — тонкостенное дно (0,15 мм); 5 — холодильник; 6 — печь предварительного нагрева; 7 — литейная форма в сборе; 8 — плавильная печь; 9 — матричный расплав.



- **Последовательные этапы изготовления изделия из композиционного материала методом вакуумно-компрессионного литья.**
- Основа детали с намотанными на нее армирующими волокнами устанавливается в тонкостенную литейную металлическую форму, внутренняя полость которой соответствует конфигурации получаемого изделия.
- Форма помещается в верхнюю термическую печь, а в нижнюю плавильную печь (тигель) укладывается шихта матричного сплава.
- Собранный форма вакуумируется и нагревается, одновременно в нижней печи расплавляется матричный сплав, в пространство печи под давлением подается сжатый аргон.
- Форма опускается в жидкий металл, который под давлением через специальные отверстия поступает внутрь и заполняет (пропитывает) зазоры между армирующими волокнами.
- После окончания пропитки форма поднимается вверх, где расположен внешний холодильник, жидкая фаза кристаллизуется, изделие охлаждается и извлекается из

формы.

# Метод пропитки волокон расплавленным металлом или терморреактивными смолами с формированием профиля протягиванием через фильеру



1. исходное армирующее волокно.
2. ванна с терморреактивной смолой (или металлом)
- 3, 5, 7 – формирующие фильеры.
4. печь
6. охладитель.
- 8 . тянущее устройство.
9. устройство для резки композита на мерные заготовки.

# Инфильтрация

- Капиллярная инфильтрация пористого каркаса из тугоплавкого компонента легкоплавкой составляющей может проводиться по методу наложения или методу погружения.
- При проведении инфильтрации по методу наложения спеченный пористый каркас из тугоплавкого компонента вместе с помещенным на нем твердым инфильтруемым материалом загружают в печь с защитной атмосферой и соответствующей температурой.
- При инфильтрации методом погружения пористый каркас вводят в предварительно расплавленный легкоплавкий компонент. Полученный материал практически не содержит пор.
- Повышение механических свойств можно обеспечить, если каркас под инфильтрацию готовить не из специального порошка, а из волокон или нитей тугоплавкого металла. При этом повышается не только прочность, но и эрозионная стойкость, что приводит к повышению износостойкости

# Композиционные материалы с керамической матрицей ККМ

Высокопрочные композиты на основе керамики получают путем армирования ее волокнистыми наполнителями, а также металлическими и керамическими дисперсными частицами (керметы). Армирование непрерывными волокнами позволяет получать ККМ, характеризующиеся повышенной вязкостью, а армирование частицами приводит к резкому возрастанию прочности за счёт создания барьеров на пути движения трещин.

Измельчение  
и  
смешение  
компонентов



Формование  
изделия  
(литье,  
прессование)  
и его сушка



Обжиг (900 -  
2000°C)  
под давлением  
или без него



Мехобработка,  
металлизация  
(при  
необходимости)

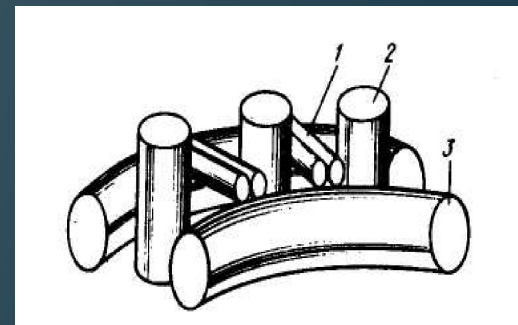
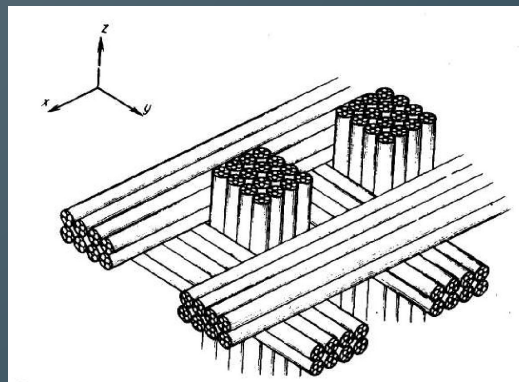
- ККМ получают формированием заготовок с последующим их спеканием. Формование заготовок осуществляют уплотнением порошковых смесей (сухих или содержащих пластификаторы). Для формования простых по форме и небольших по размерам деталей используют традиционные методы прессования: вибрационное, в прессформах, гидростатическое, в упругих оболочках и т. д. Длинномерные изделия получают методом экструзии. Крупногабаритные изделия формируют литьем водных шликеров в гипсовые формы.
- Изделия из ККМ с нитевидными кристаллами формируют суспензионным методом. Суспензию порошкообразных компонентов керамики в технологической жидкости небольшими порциями заливают в форму с пористым или сетчатым дном. После отсасывания жидкости образуется слой осадка, в котором армирующие агрегаты из нитевидных кристаллов ориентированы параллельно плоскости дна формы.

- *ККМ с металлическими волокнами.* Керамику армируют волокнами вольфрама, молибдена, стали, ниобия. Основная цель введения в керамику металлических волокон заключается в образовании пластичной сетки, которая способна обеспечить целостность керамики после ее растрескивания и уменьшить вероятность катастрофического разрушения. Металлические волокна не взаимодействуют с оксидной керамикой вплоть до температур 2073-2773 К. Изготавливают такие ККМ методом горячего прессования.
- *ККМ с углеродными волокнами.* Взаимодействие углерода с оксидами, карбидами и силицидами происходит при более высоких температурах, чем с металлами, поэтому использование керамики в качестве матриц высокотемпературных композитов с углеродными волокнами весьма перспективно.
- *ККМ с волокнами карбида кремния.* При практически равной прочности эти ККМ имеют преимущества перед аналогичными материалами с углеродными волокнами - повышенную стойкость к окислению при высоких температурах и значительно меньшую анизотропию коэффициента термического расширения. В качестве матрицы используют порошки боросиликатного,



# Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ)

Углеродные  
каркасы



Подготовка  
армирующего  
каркаса



Газофазная или  
жидкофазная  
пропитка каркаса  
углеродной матрицей

***Углерод-углеродные композиционные материалы*** состоят из углеродных волокон находящихся в углеродной матрице. Их получают многократным повторением (до 6...8 раз) циклов пропитки исходной прессовки на основе углеродных волокон смолами или пеком с дальнейшей карбонизацией (пиролизом в вакуумной печи) для образования углеродной матрицы. Эти материалы получают также термохимическим осаждением графита на волокнах наполнителя (термохимическая вакуумная пропитка). Этот способ обычно используется для изготовления высокопрочных ответственных деталей. Углерод-углеродные композиты имеют самую высокую удельную прочность из всех известных материалов. Их прочность сохраняется до 2500°C.

Недостатком С-С композитов является их низкое сопротивление окислению. Они начинают окисляться при температурах больших 600°C и должны быть защищены жаростойкими, непроницаемыми для воздуха покрытиями.

# КМ на основе стеклянных матриц

## 1. **Безопасные стекла** (армированное, безосколочное, закаленное)

Безопасные стекла применяют главным образом для остекления скоростного транспорта: автомобилей, троллейбусов, автобусов и самолетов.

**Армированное** стекло – получают введением внутрь стеклянного листа металлической сетки; при ударе и растрескивании стекла металлическая проволока удерживает осколки на себе. Порция стекла выливается на стол перед передним валиком. Валик огибается проволоочной сеткой, которая сматывается с рулона. Валик раскатывает стекло в пласт и одновременно прижимает к нему проволоочную сетку. За первым валиком на небольшом расстоянии и несколько выше катится второй, перед ним также налито стекло, которое раскатывается поверх сетки, сливаясь в одно целое с нижним слоем.

**Безосколочное** трехслойное стекло (триплекс) – представляет собой слоистый гетерогенный материал толщиной 4-6,5 мм, состоящий из двух листов стекла, склеенных прозрачным и упругим промежуточным слоем органического вещества, который удерживает на себе осколки.

Прямоугольные заготовки режут на форматы заданного размера и контура. Поверхность стекла обезжиривается и сушится (15 мин, 65-70<sup>0</sup>С). В качестве клеевой прослойки используется пленка из бутафоли (поливинилбутироля) толщиной 0,35-0,5 мм. Собранные пакеты из двух листов стекла и пленки выдерживают под нагрузкой 12-18 кг в течение 1-5 мин, и вакуумируют 2-3 часа для удаления воздуха. Склеивают пакеты в автоклаве при давлении 18 атм («прессовка») с предварительным подогревом без давления до 98-100<sup>0</sup>С для размягчения клеевой пленки с целью лучшей склейки.

# КМ на основе стеклянных матриц

## ПЕНОСТЕКЛО

- **Структура** пеностекла определяет его назначение:
  - - с замкнутыми порами – термоизоляционное;
  - - с сообщающимися порами – звукопоглощающее;
  - - с частично замкнутыми порами – строительно-изоляционное;
  - - микропористое – химическое;
  - - механически прочное – техническое.

Получают пеностекло из шихты, представляющей собой смесь стекольного боя и кокса в качестве пенообразователя. После смешивания шихту помещают в формы. Вспенивание происходит в туннельной печи, обогреваемой газом. Печь имеет ряд температурных зон, последовательно воздействующих на содержимое формы. Вспенивание происходит при температуре 700-800<sup>0</sup>С. После вспенивания происходит охлаждение до 600<sup>0</sup>С, затем формы извлекают из печи. Полученную заготовку подвергают механической обработке.

# Получение полимерных композиционных материалов

## **Полимерные композиционные материалы –**

это гетерофазные композиционные материалы с непрерывной полимерной фазой (матрицей), в которой хаотически или в определенном порядке распределены твердые, жидкие или газообразные наполнители.

В зависимости от типа полимерной матрицы различают наполненные реактопласты, термопласты (полиэтилен, поливинилхлорид, капрон и др.), синтетические смолы (полиэфирные, эпоксифенольные и др.) и каучуки.

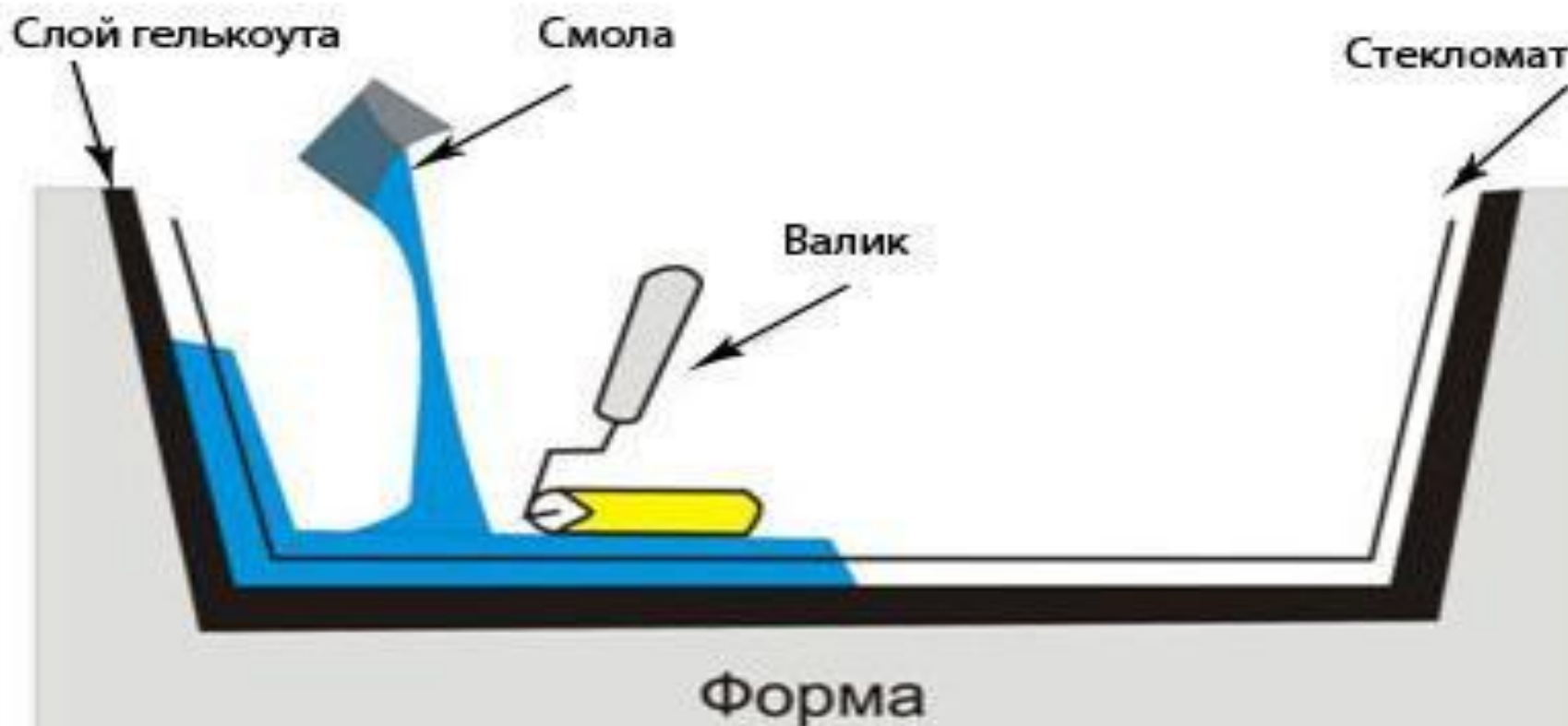
В зависимости от типа наполнителя ПКМ делят на дисперсно-наполненные пластики (наполнитель - дисперсные частицы разнообразной формы, в т. ч. измельченное волокно), армированные пластики (содержат упрочняющий наполнитель непрерывной волокнистой структуры), газонаполненные

пластмассы, масло-наполненные каучуки:

по природе наполнителя наполненные полимеры подразделяют на асбопластики (наполнитель-асбест), графито-пласты (графит), древесные слоистые пластики (древесный шпон), стеклопластики (стекловолокно), углепластики (углеродное волокно), органопластики (химические волокна), боропластики (борное волокно) и др., а также на гибридные, или поливолоконистые пластики (наполнитель-комбинация различных волокон).

**По способу изготовления ПКМ можно разделить на полученные: выкладкой, намоткой, пултрузией, прессованием и др.**

# Технологии производства композитных ПМ – контактное (ручное) формование

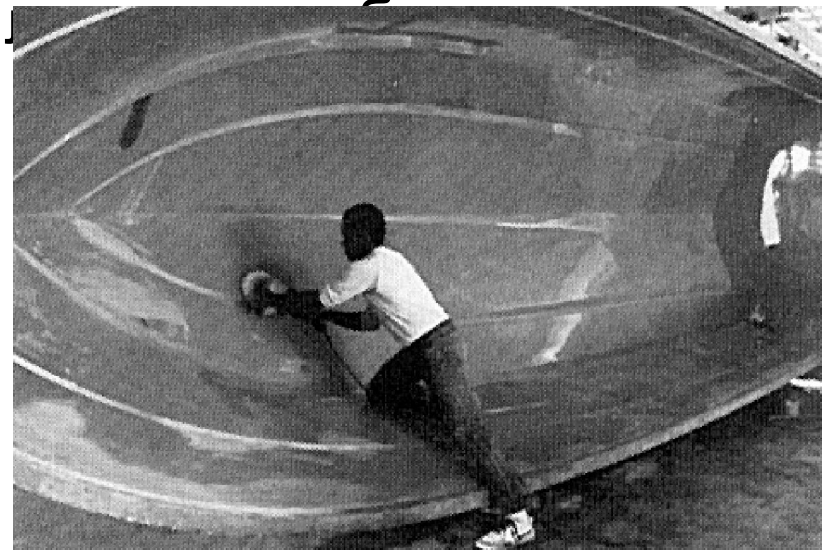


- Используется для изготовления авиакomпонентов, лодок, частей машин, бассейнов и тд.

- Ручное формование используют для изготовления изделий в единичных экземплярах.
- На подготовленную матрицу наносится гелькоут – материал для получения хорошей отделки на внешней части армированного материала, позволяющий также подобрать цвет для изделия. Затем в матрицу укладывается наполнитель – например, стеклоткань – и пропитывается связующим. Удаляют пузырьки воздуха, остужают и дорабатывают напильником, шлифуют, высверливают и пр.

Этот метод широко

- используется для создания
- деталей корпуса автомобилей,
- мотоциклов и мопедов.







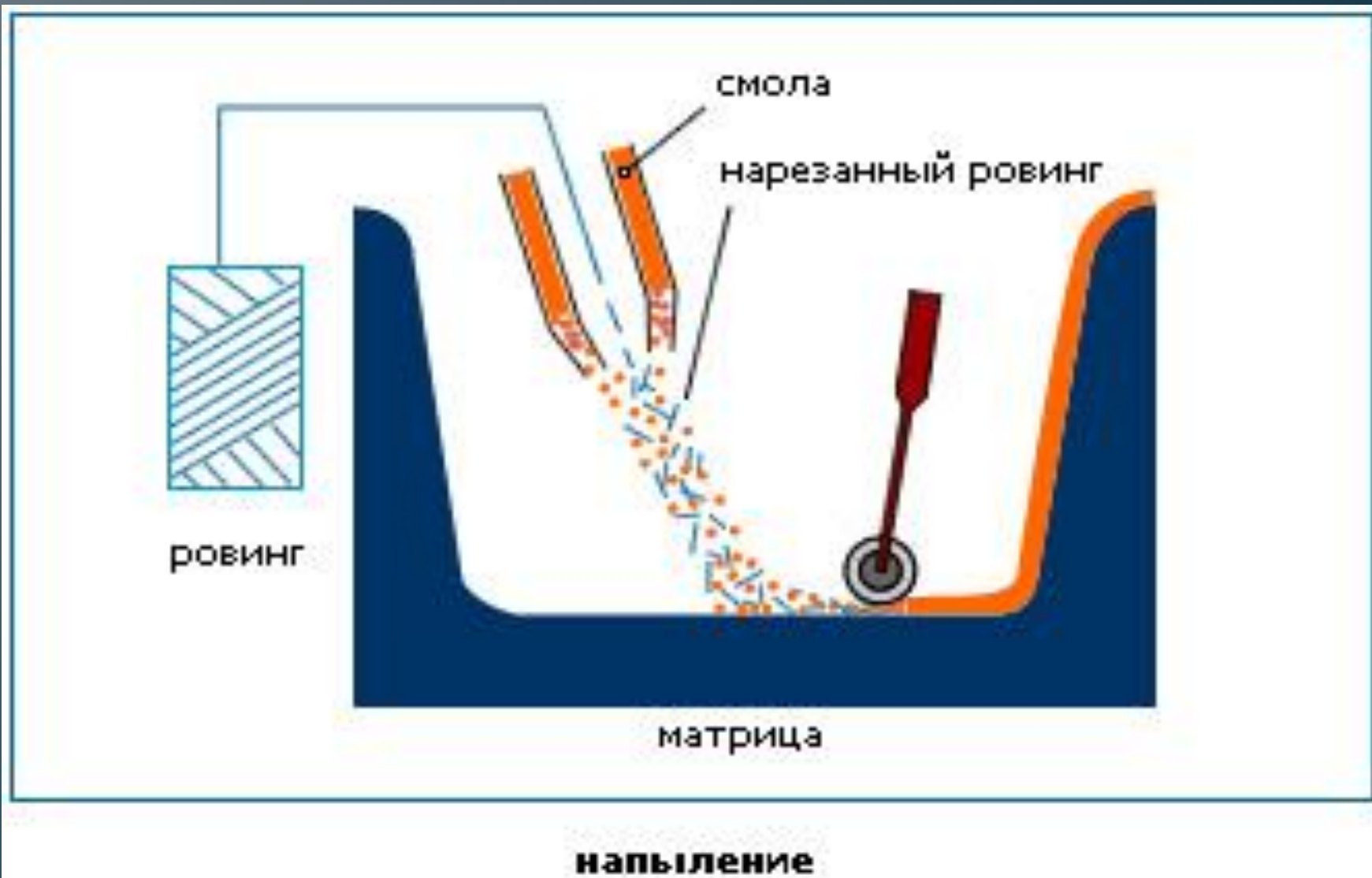
- Преимущества ручного формования
- существует реальная возможность получить продукт сложной формы и немалого размера с минимальными вложениями;
- конструкция изделия поддается легкому изменению, поскольку в изделие вводятся закладные детали и арматура, а цена оснастки и требуемого оборудования достаточно низкая;
- чтобы изготовить матрицу используется любой материал, который способен сохранить свои пропорции и форму.
  
- Недостатки ручного формования :
- существенные затраты ручного труда;
- производительность достаточно низкая;
- качество изделия будет зависеть от квалификации формовщика;

• этот метод подойдет для выпуска малосерийной

# Технологии производства композитных ПМ – напыление

Установка позволяет нанести защитное покрытие и пластик, благодаря чему не понадобится предварительный раскрой материала и приготовление связующего вещества, вследствие чего резко сокращается часть ручного труда.

Специальные установки автоматически производят жёсткий отсчет доз смолы и отвердителя, также они осуществляют рубку ровинга на части необходимых размеров (0,8 - 5 см). После процесса рубки части нити должны попасть в струю связующего и пропитаться во время переноса на матрицу. За счет ручного труда осуществляется уплотнительный процесс для стеклопластика в матрице с помощью прикаточного валика.

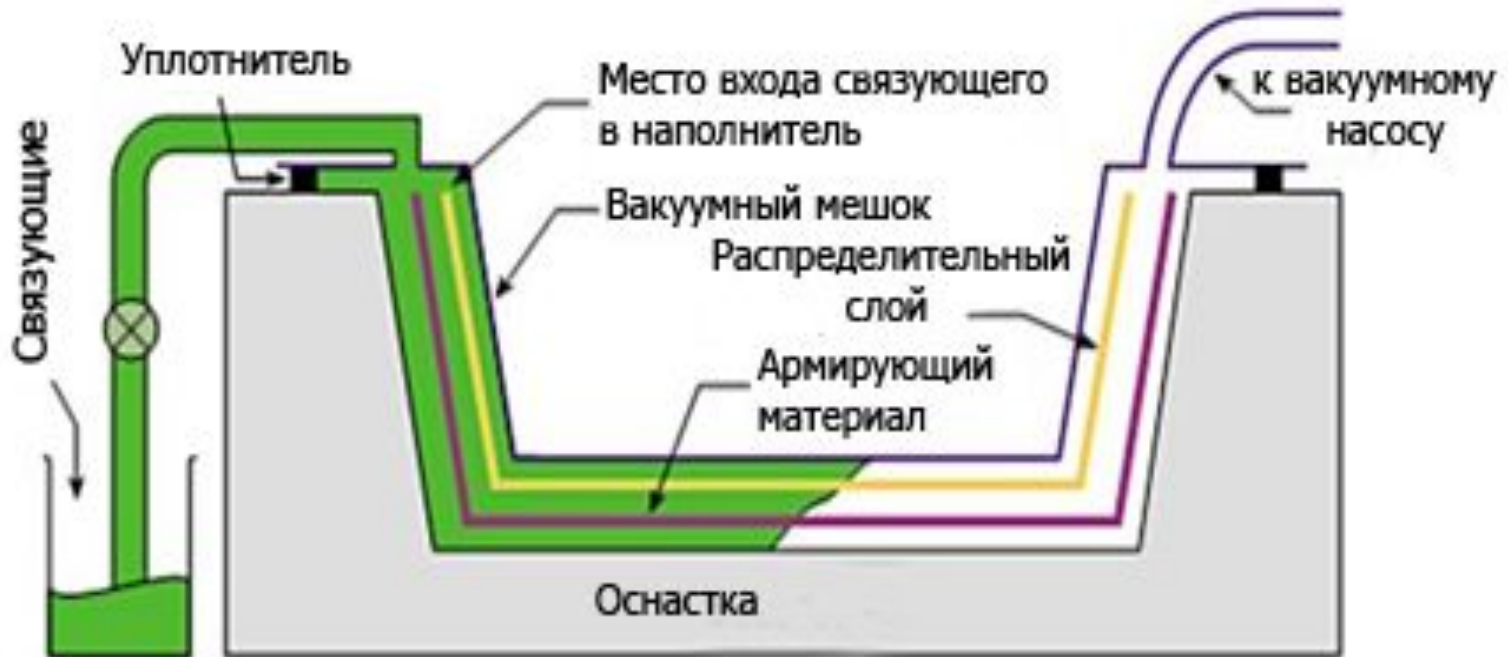


- Используется для изготовления авиакomпонентов, лодок, частей машин, бассейнов и тд.



- Ряд преимуществ при производстве КМ методом напыления:
- происходит экономия времени и полезных площадей за счет того, что не надо раскраивать материал и подготавливать связующее вещество;
- можно уменьшить количество производственных площадей за счет снижения числа специально подготовленных мест для формовки;
- скорость формования изделия увеличивается;
- контроль над качеством продукции упрощается;
- фонд заработной платы существенно экономится;
- за счет того, что ровинг – относительно недорогой материал, то существенно понижается стоимость полученного изделия.

# Вакуумная инфузия (RTM)



Заготовку помещают в одну половину формы, затем поверх формы надевается вакуумный мешок, чтобы обеспечить герметичность. Из мешка откачивается воздух, под воздействием отрицательного давления в заготовку подается связующий элемент. После завершения процесса пропитки связующее вещество твердеет, образуя жесткую полимерную матрицу

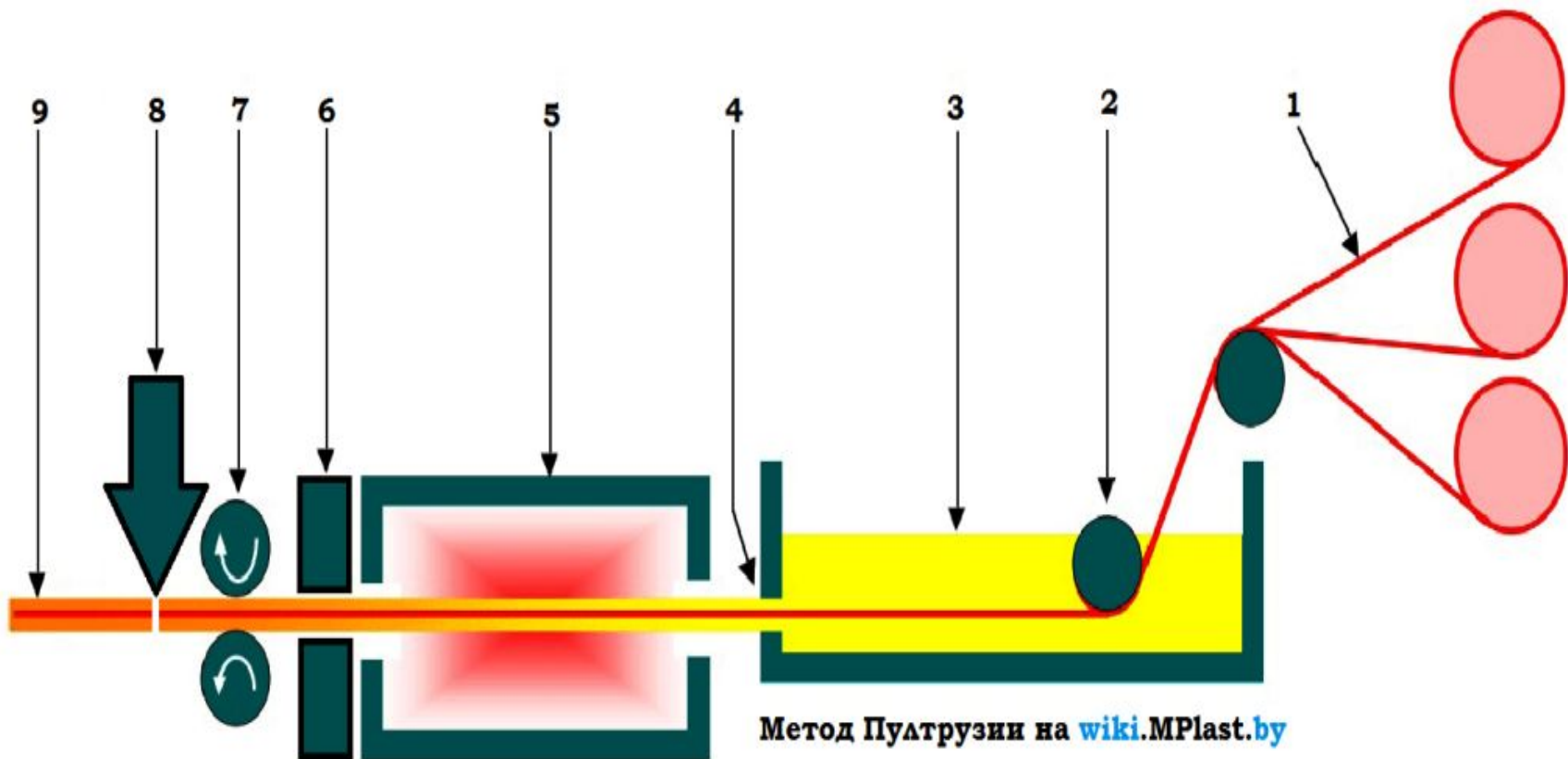
# Создание корпуса яхты методом инфузии





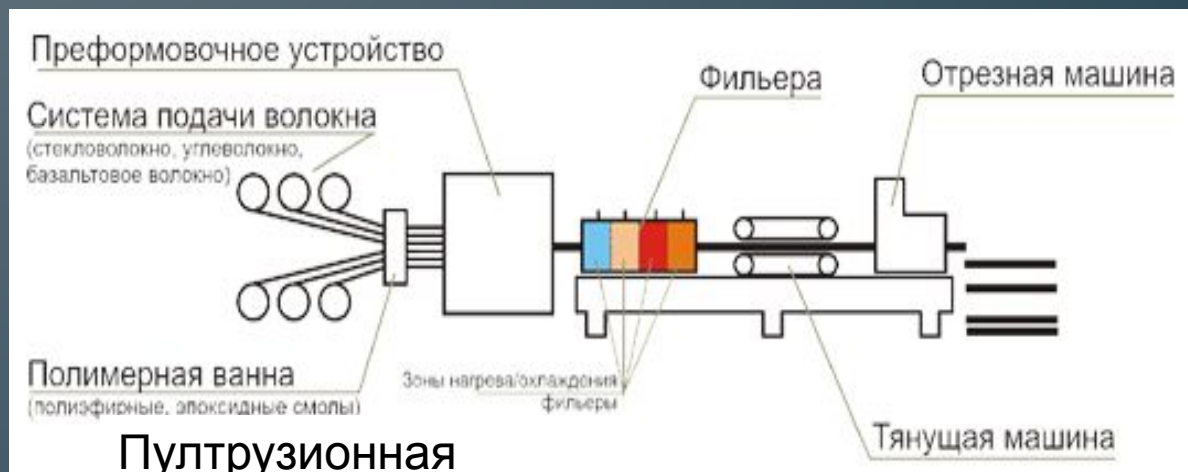
# Технологии производства композитных ПМ – пультрузия

- Пултрузия – это “протяжка”. При этом методе происходит непрерывный процесс протягивания композиционного материала сквозь тянущую машину. Скорость процесса составляет до 6 метров в минуту. Волокна пропускаются через полимерную ванну, где пропитываются связующим, после чего проходят сквозь преформовочное устройство, получая окончательную форму. Затем в пресс-форме материал нагревается, и на выходе мы получаем окончательный затвердевший продукт.

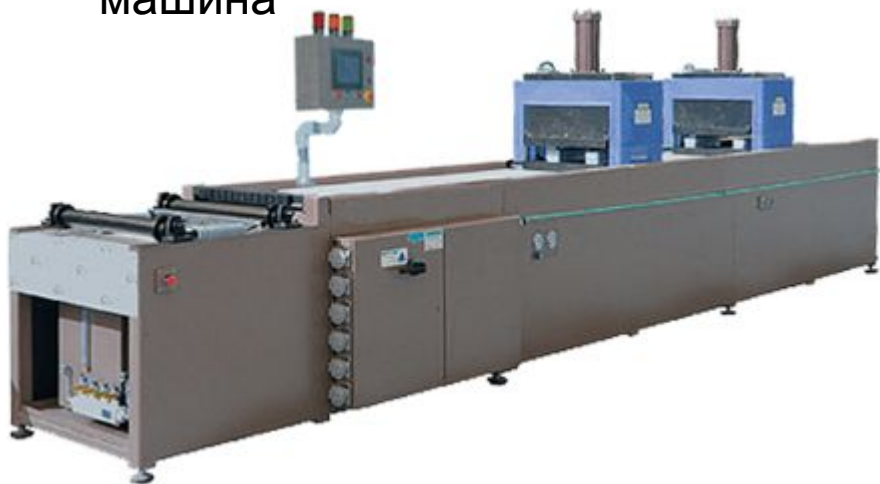


1 - Ровинг; 2 - Пропиточный ролик; 3 - Ванна со связующим; 4 - Ровинг, пропитанный связующим; 5 - Формующее; 6 - Калибрующее устройства; 7 - Тянущее устройство; 8 - Отрезное устройство; 9 - Готовое изделие.

Пультрузия - Процесс изготовления высоко наполненных волокном композиционных деталей с постоянным поперечным сечением на основе волокон стекла, углерода, базальта и полимеробразующих смол



Пултрузионная машина



Фильтер

а



Форма

изделий

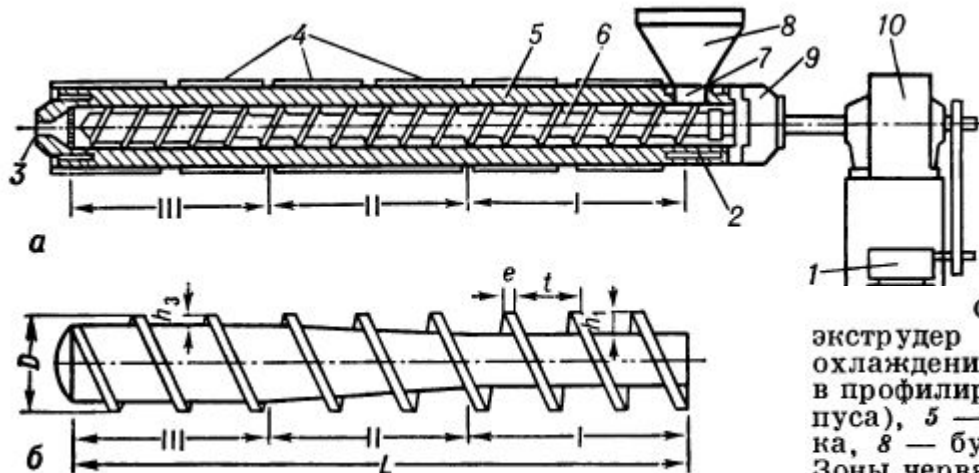


# Экструзия

**Материалы:** термопласты, резиновые смеси, реактопласты

**Технологические процессы:**

- 1 - гранулирование
- 2 – изготовление пленок
- 3 – производство листовых и рулонных материалов (ПВХ линолиум)
- 4 – изготовление труб, шлангов, прутков и других профильных (погонажных) изделий
- 5 – наложение полимерной изоляции на металлические провода
- 6 – нанесение тонкослойных покрытий на бумагу, картон, ткани, металлическую фольгу



ификаторами и другими

Одночервячный горизонтальный одностадийный экструдер (а) и червяк (б): 1 — двигатель, 2 — канал для охлаждения зоны бункера, 3 — канал для выхода расплава в профилирующую головку, 4 — нагреватели цилиндра (корпуса), 5 — цилиндр, 6 — червяк, 7 — загрузочная воронка, 8 — бункер, 9 — упорный подшипник, 10 — редуктор. Зоны червяка: I — питания (загрузки), II — сжатия (пластикации), III — выдавливания (дозирования).  $D$  — диаметр червяка,  $L$  — длина червяка,  $h_1, h_3$  — глубина винтового канала в зонах питания и выдавливания соответственно,  $e$  — ширина гребня витка,  $t$  — шаг нарезки.

# Получение ПВХ пленки в виде рукава методом экструзии



- **Экструзия** полимерных композиционных материалов происходит следующим образом: формуемый материал поступает в зону питания экструзионного оборудования, где увлекается вращающимся червяком (диаметром 20-250 мм) и продвигается вдоль обогреваемого корпуса (цилиндра) в зоны пластикации и дозирования. По мере продвижения материала в сторону головки полимерная матрица плавится за счет трения и внешнего нагрева, расплав полимерного композиционного материала (ПКМ) гомогенизируется. Расплавленный полимерный композиционный материал нагнетается в головку, откуда выходит сформованное изделие, которое затем охлаждается.
- **Экструзия полимерных композиционных материалов применяется** для изготовления непрерывных изделий (пленок, листов, труб, шлангов), а также объемных изделий из полимерных композиционных материалов с термопластичной и терморезистивной матрицей.

# Технологии производства ПКМ – намотка

- Наполнитель - армирующий материал в виде постоянного ровинга (жгута) или нити (пряжи).
- Благодаря использованию жгутов, лент, нитей в качестве наполнителей позволяет обеспечить максимальную прочность изделий.
- Специальные механизмы следят за углом намотки и нахождением армирующего материала. Эти устройства передвигаются со скоростью, совпадающей с вращением оправки. Материал обертывается вокруг оправки в виде полос, соприкасающихся друг с другом, либо по какому-то специальному рисунку до полного перекрытия оправочной поверхности. Идущие друг за другом слои, могут наноситься под одним углом или под разными углами намотки, пока не наберется требуемая толщина. Угол намотки меняется от очень малого, который имеет название продольного, до большого – окружного. Такое расположение подразумевает  $90^{\circ}$  относительно оси оправки, захватывая все углы спирали этого интервала.
- В процессе мокрой намотки смола наносится непосредственно во время самой намотки. Процесс сухой намотки основан на



Применяется для: композитных труб, емкостей, сосудов под давлением



- **Основные достоинства метода намотки:**

- доходный с точки зрения экономики метод укладки материала за счет быстроты процесса;
- возможность регулировки соотношения смола/стекло;
- малый собственный вес, но при этом высокая прочность;
- данный метод не расположен к коррозии и гниению;
- относительно недорогие материалы;
- хорошая структура ламинатов, за счет того, что профили обладают направленными волокнами, и хорошее содержание стекломатериалов.

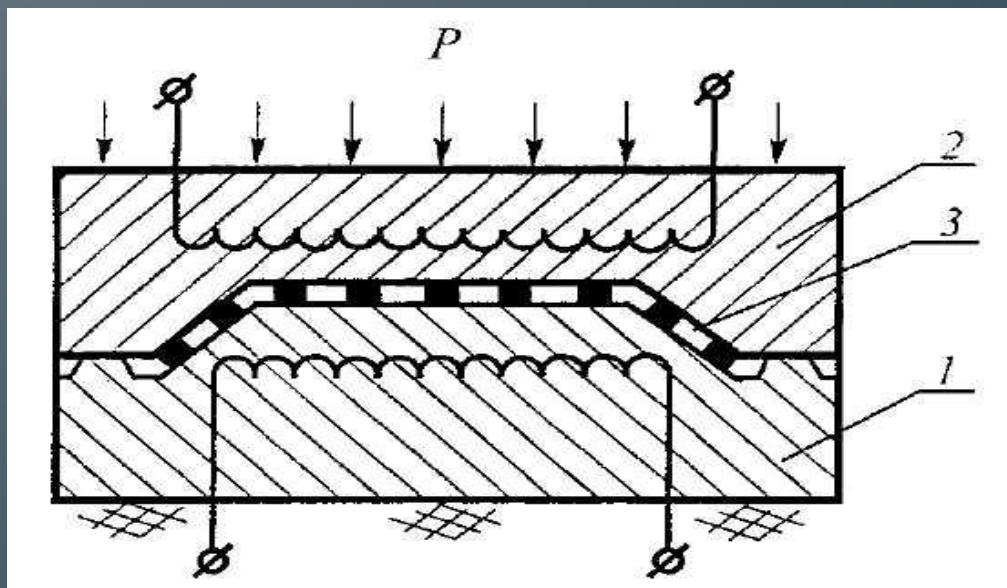
- **Недостатки метода намотки:**

- Малая скорость получения,
- Не подходит для большого количества волокон



# Технологии производства КОМПОЗИТНЫХ ПМ – прессование



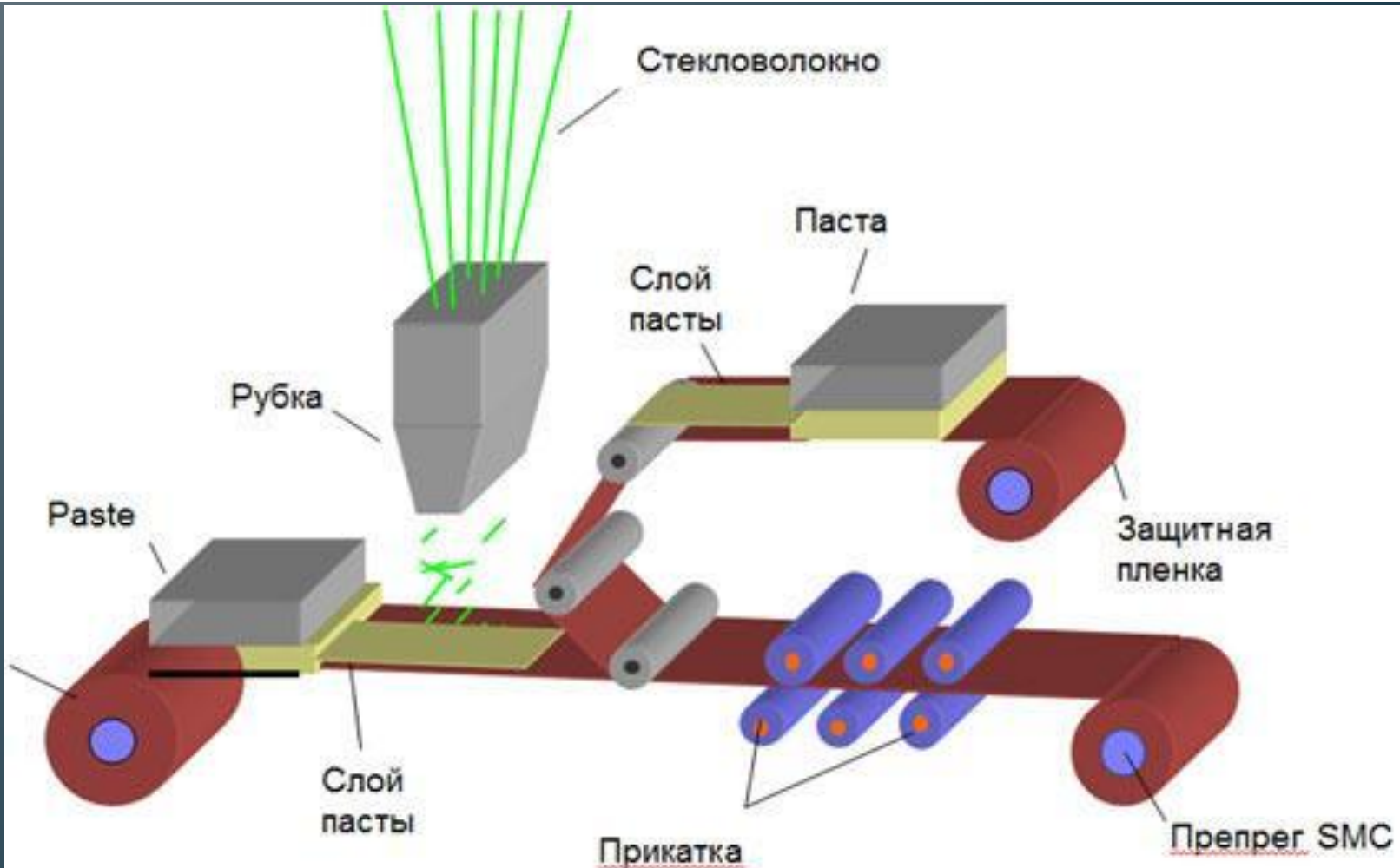


Формование **прессованием**: 1,2-  
нижняя и верхняя части  
прессформы; 3 - препрег



- Процесс прессования состоит в непосредственном придании нужной формы изделию под воздействием высокого давления, которое образуется в пресс-форме при температуре быстрого затвердения материала. Благодаря внешнему давлению в материале, который прессуется, происходит его уплотнение и частичная деструктуризация прежней структуры. Трение между соприкасающимися частичками материала, которое образуется во время уплотнения, вызывает появление тепловой энергии, которая приводит к плавлению связующего вещества. После того, как материал перейдет в вязкопластичное состояние, он растекается в пресс-форме под действием давления, образуя целостную и уплотненную структуру.
- Прессование пластиков для армирования имеет две разновидности, которые зависят от того, как пропитывается волокнистый наполнитель:
  - Прессуются сухие, предварительно пропитанные холсты и ткани;
  - Прессуются с пропиткой именно в форме.

# Технологии производства композитных ПМ Технология SMC



- **Технология SMC – двухстадийное производство:**
- **SMC** (Sheet Moulding Compound) – препрег, представляющий собой листовой пропитанный терморезактивными смолами, загущенный, стеклонаполненный компаунд. Метод прямого горячего прессования из текучих препрегов (технология SMC) позволяет производить изделия сложной геометрии средними и крупными сериями (от 10000 изделий в год). В качестве исходного материала используется SMC препрег – волокнистый прессматериал. Препрег перерабатывается в конечные изделия в автоматических гидравлических прессах.
- Данная технология является передовым и высокопроизводительным способом изготовления деталей из полимерных волокнистых композитов. Цикл изготовления детали в среднем не превышает пяти минут. При этом получают прочные, однородные по объему

(без воздушных включений и дефектов) изделия с

# Молекулярные методы: основные стадии

- химическое или электролитическое осаждение молекул матрицы на поверхность НК из пара или раствора.
    - тонкие металлические покрытия (толщиной до 1 мкм), применяют для обеспечения смачивания или создания электропроводящего слоя на непроводящем армирующем элементе.
    - толстые металлические покрытия (сотни и тысячи микрометров), после уплотнения засыпки НК, выполняют роль матрицы. Например, химическим осаждением из пара получают толстые покрытия из никеля и его сплавов на поверхности алюмооксидных НК.
- Методом электроосаждения получают композит из никелевой матрицы с наполнителем из алюмооксидных НК:
- методом ионной металлизации в паровой фазе на НК наносят тонкое проводящее покрытие из вольфрама;
  - полученные волокна укладывают на стеклоткань и подсоединяют к электроду, тогда осаждаемый никель заполняет промежутки между волокнами;
  - листовой полуфабрикат разрезают на полосы, собирают их в стопку и подвергают горячему прессованию.