

# Автоклавное формование

# Суть метода

Автоклавное формование - метод получения многослойных композитных изделий, заключающийся в приложении избыточного давления при помощи автоклава.

Слои армирующего наполнителя выкладывают на формообразующую оснастку, затем вместе с ней помещают в вакуумный мешок и снижают в нем давление. Таким образом достигается градиент давления по отношению к атмосферному. Этот метод получил название формования с помощью вакуумного мешка. В случае, если избыточное внешнее давление создаётся с помощью автоклава, данный метод называют автоклавным формованием.

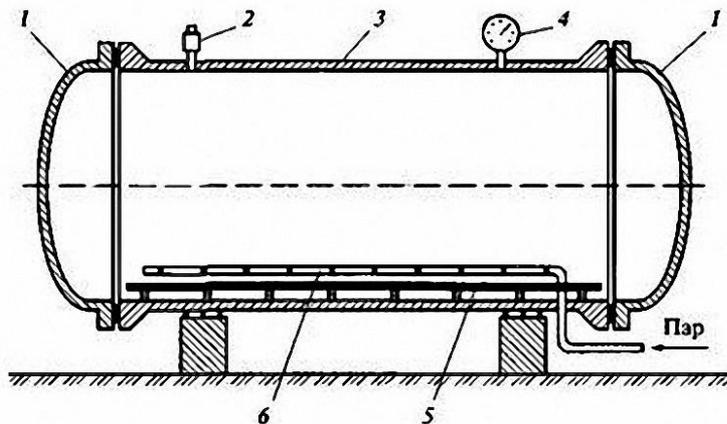


# Устройство автоклава

Автоклав - герметичный сосуд, позволяющий создать большое избыточное давление и температуру.

Типы автоклавов:

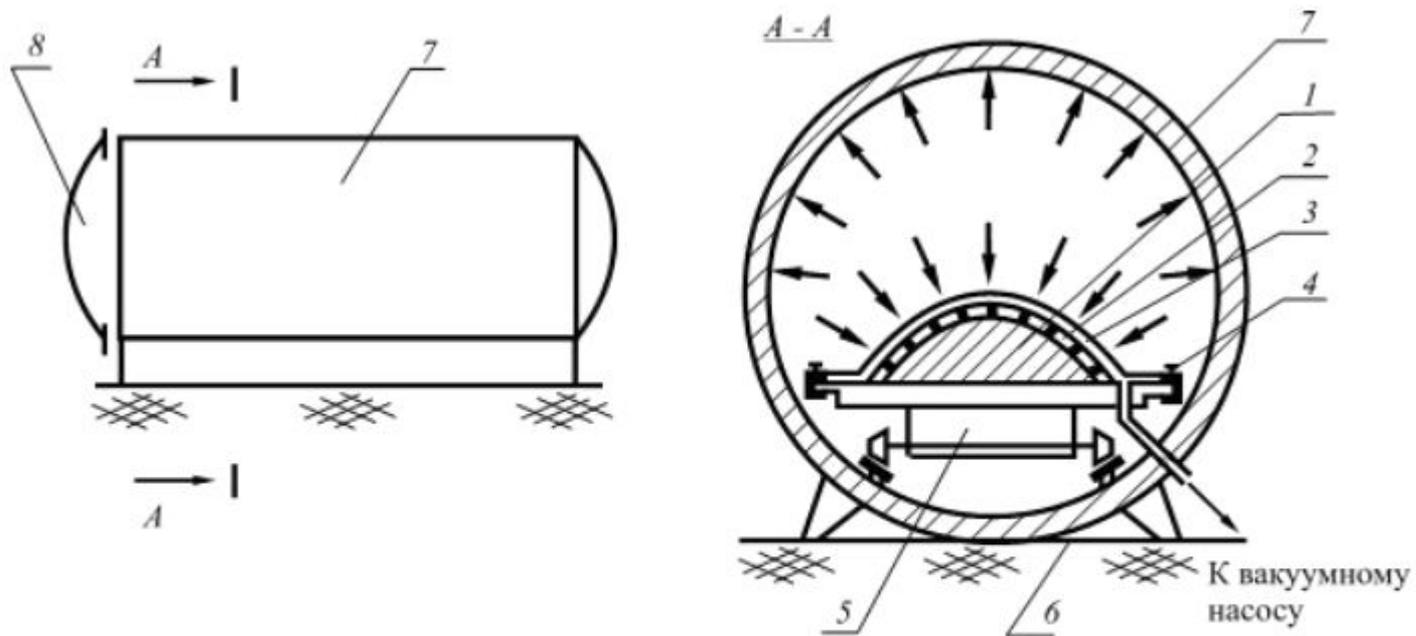
- Горизонтальные (применяются для автоклавного формования композитов);
- Вращающиеся;
- Качающиеся;
- Вертикальные;
- Колонные.



Принципиальная схема автоклава:

1. Сферические крышки;
2. Предохранительный клапан;
3. Цилиндрический металлический сосуд (котёл);
4. Манометр;
5. Рельсы для вагонеток;
6. Паропровод.

# Устройство автоклава



- 1 – форма; 2 – препрег; 3 – эластичная мембрана; 4 – уплотнители;  
5 – тележка; 6 – рельсы; 7 – корпус автоклава; 8 – крышка.

# Этапы автоклавного формования

1) На формообразующую оснастку выкладывают многослойный пакет препрега и вспомогательных материалов, собирают вакуумный мешок и понижают в нем давление;

2) Помещают заготовку в автоклав и постепенно повышают давление и температуру;

3) Выдерживают заготовку при заданных параметрах.

\* Нередко температуру повышают ступенчато с выдержкой на промежуточных этапах.

# Технологическая оснастка

Формообразующая оснастка для автоклавного формования выбирается исходя из температуры формования и серии изготавливаемых изделий.

При высокой температуре формования применяют оснастку, изготовленную из металла или композита на основе высокотемпературных полимеров. Ответственные изделия должны формироваться на оснастке из того же материала что и изделие во избежание коробления изделия по причине различных КТЛР материалов изделия и оснастки.

При низких температурах формования допустимо применение таких материалов как МДФ, модельный пластик или композит.



# Особенности формообразующей оснастки

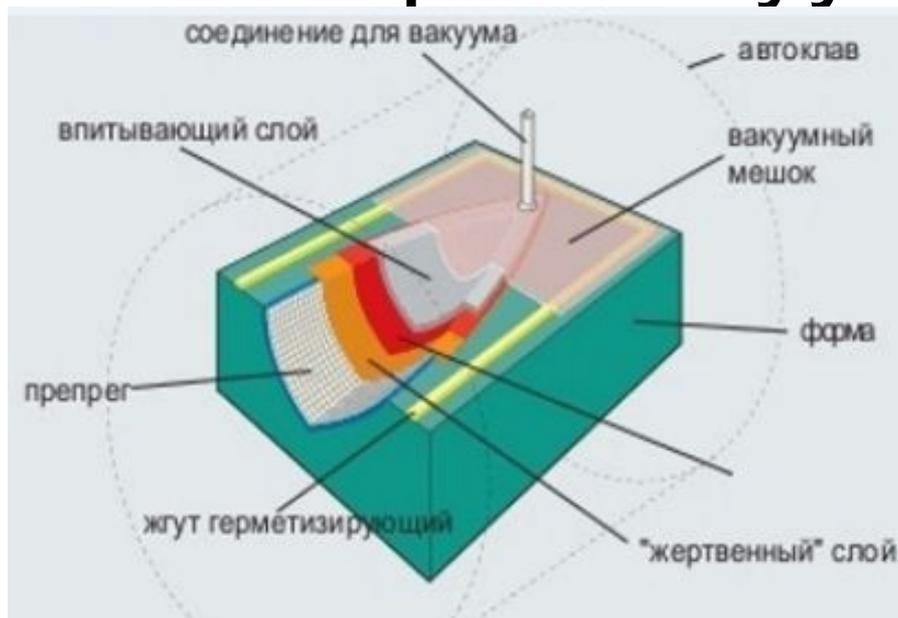
- Может быть тонкостенной и лёгкой;
- Должна сохранять герметичность;
- Высокая теплопроводность материала оснастки;
- Металлическая оснастка: тяжёлая, её сложнее вытачивать, но долговечная, высокотемпературная;
- Углепластиковая оснастка: лёгкая, имеет одинаковый КТЛР с углепластиковыми изделиями, прочная и долговечная, высокотемпературная, но дорогая;
- Оснастка из МДФ: дешёвая, проста в изготовлении, сильно поглощает влагу, наименее прочная;
- Оснастка из модельного пластика: проста в изготовлении, дорогая, не является высокотемпературной.

# Исходные материалы

- Препреги (в основном):
  - Однонаправленные/  
двунаправленные/  
мультиаксиальные;
  - С различными армирующими наполнителями: углеродными, стеклянными, базальтовыми и пр.
  - С различными связующими: реактопластами и термопластами;
- Сотовые наполнители;

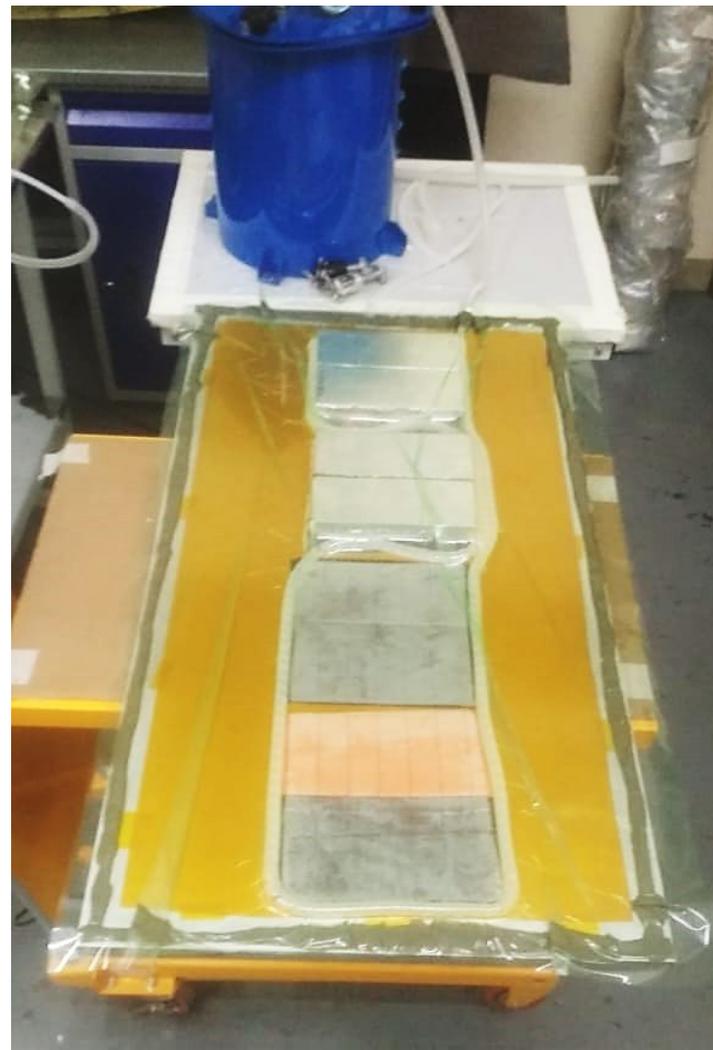


# Вспомогательные материалы/ сборка вакуумного мешка



Вверху – схема сборки вакуумного мешка.

Справа - подготовленная к формованию слоистая структура, нижняя формообразующая плита из алюминия, верхняя формообразующая «цулага» под вакуумной полиамидной пленкой.



# Выбор параметров автоклавного формования

Правильный выбор параметров (вакуум, температура, давление, продолжительность их воздействия) формования позволяет получать качественный материал, отвечающий заданным требованиям. К моменту завершения процесса отверждения должны быть полностью удалены избытки связующего и максимально удалены летучие продукты. Большая толщина и малая жизнеспособность связующего при повышенной температуре могут привести к удалению излишков связующего только из части слоев препрега. Во избежание этого проводят предварительный расчет давления и продолжительности процесса удаления излишков связующего в зависимости от проницаемости ткани и температуры формования.

Продолжительность удаления излишков смолы рассчитывается по формуле:

$$\tau = \frac{m \cdot \eta \cdot H^2}{2K \cdot \Delta P}$$

где  $\tau$  – продолжительность отжима излишков связующего, с;  $m$  – пористость армирующего наполнителя;  $H$  – общая толщина пакета препрега и впитывающих слоев, см;  $\eta$  – вязкость связующего при повышенной температуре, при которой производится отжим, мПа·с;  $\Delta P$  – перепад давления, действующий на пакет препрега, МПа;  $K$  – коэффициент проницаемости, дарси (1 Д  $\approx$  1 мкм<sup>2</sup>). Проницаемость – это проводимость жидкости под влиянием приложенного давления, т. е. мера подачи жидкости через пористую среду, измеренная во внесистемных единицах – дарси (Д) или в системе СИ: 1 Д  $\approx$  1 мкм<sup>2</sup>  $\approx$  10<sup>-12</sup> м<sup>2</sup>.

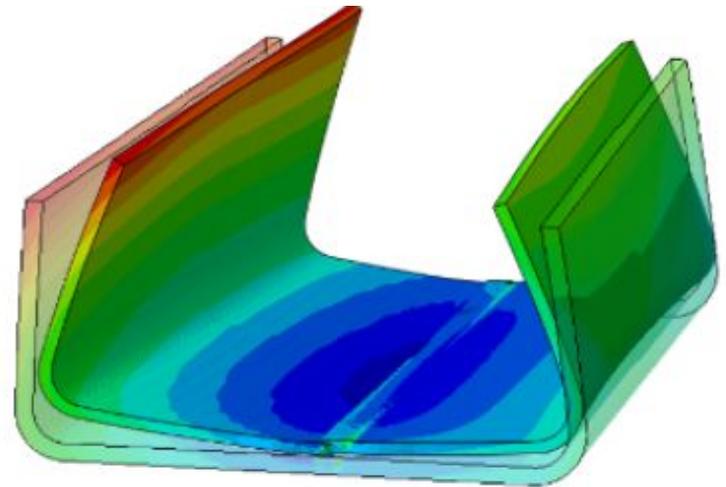
Расчёт пористости ткани проводится по формуле:

$$m = \left( 1 - \frac{\gamma_n}{\gamma_v} \right) \cdot 100\%$$

где  $\gamma_v$  – плотность ткани, г/см<sup>3</sup>.  $\gamma_n$  – плотность монослоя ткани, г/см<sup>3</sup>.

# Тепловые дефекты изделий

- Коробление;
- Недоотверждённое или пересушенное изделие из-за неверно подобранного температурного режима;
- Расслоение материала в случае неправильной выкладки;
- Образование каверн из-за натяжения ткани в углах.



# Достоинства метода

- Лучшее соотношение волокно/связующее, что благоприятно сказывается на прочности и массе готового изделия;
- Получение наиболее гладкой поверхности;
- Низкая пористость;
- Отсутствие воздушных пузырей;
- Лучшее пропитывание материалов;
- Экономия связующего вещества (смолы);
- Отсутствие взаимодействия с вредными веществами.

# Недостатки метода

- Высокая себестоимость изделий из-за затрат на электроэнергию (создание давления и температуры);
- Длительность изготовления изделий высока, что усложняет серийное изготовление;
- Габариты изделия напрямую зависят от габаритов применяемого автоклава.
- Более высокие требования к квалификации рабочих;
- Высокая пожароопасность из-за температуры, давления, кислорода.

# Техника безопасности при работе с автоклавом

Работник, обслуживающий автоклав, должен быть проинструктирован в объеме инструкции по пожарной безопасности и инструкции по оказанию первой доврачебной помощи, должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты.

Перед началом работы необходимо произвести осмотр доступных наружных поверхностей рабочей камеры, трубопроводов, корпуса с целью выявления внешних дефектов, крепления крышки стерилизационной камеры, произвести осмотр манометра с целью установления целостности стекла и положения стрелки на нулевой отметке.

Эксплуатация и техническое обслуживание автоклавов должны осуществляться в соответствии с требованиями паспорта (формуляра) на оборудование.

Опасные и вредные производственные факторы:

- повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- опасность взрыва автоклава (сосуда, работающего под давлением);
- повышенная физическая нагрузка;
- повышенная влажность воздуха рабочей зоны;
- повышенная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенная температура поверхностей автоклава;

