



**МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)**

Технологические методы производства деталей машин из ПКМ, содержащих дисперсные наполнители

**Баурова Н.И.
доктор технических наук
профессор кафедры
«Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин»**

История применения дисперсно-наполненных полимерных материалов

1 этап: начало XX века



Связан с созданием техники, в том числе и автомобилей. Первое серийное изделие из наполненных полимерных материалов, содержащих дисперсные наполнители произведено в 1916, это – ручка переключателя скоростей автомобиля «Ролс-Ройс». На этом этапе происходит процесс накопления экспериментальных данных по свойствам наполненных полимеров.

2 этап: конец 50-х гг. XX века



Связан с разработкой ракетного топлива, которое на 80% состояло из твердых частиц горючего, которые были склеены с помощью эластичного материала. Это позволило создать научные основы механики процессов разрушения дисперсно-наполненных полимеров.

История применения дисперсно-наполненных полимерных материалов

**3 этап:
конец 70-х гг. XX века**



Связан с массовым применением полимеров в быту, когда для придания им требуемых эксплуатационных свойств и снижения себестоимости в состав полимеров начали вводить жесткие неорганические частицы. Разработано оборудование для промышленного производства изделий.

**4 этап:
конец 80-х гг. XX века**



Связан с созданием нанокompозитов, в которых в качестве наполнителей использовались наноразмерные наполнители. На этом этапе созданы научные основы адгезионного взаимодействия на межфазной границе. Разработаны новые технологии диспергирования.

Начиная с конца 70-х гг. подавляющее большинство термопластичных полимерных материалов имели в своем составе дисперсный наполнитель.

Основные цели создания дисперсно-наполненных полимеров

Наполнитель используется, как **вспомогательный** материал



- Снижение стоимости получаемых деталей;
- Возможность создавать материалы с заданным комплексом эксплуатационных свойств.

Наполнитель используется в роли **основного** материала, а полимер используется как вспомогательный, только в качестве связующего (это характерно для высоконаполненных материалов).



- Возможность создавать материалы с заданным комплексом эксплуатационных свойств (например, абразивные материалы).

Факторы, влияющие на выбор технологии изготовления деталей из дисперсно-наполненных полимеров

- 1. Свойства используемого полимера** (физическое состояние, вязкость (или индекс текучести расплава), влажность, температура плавления, термостабильность расплавов (растворов), усадка, и др.;
- 2. Тип производства** (единичное, мелкосерийное, среднесерийное, массовое
- 3. Габариты и геометрические особенности изготавливаемой детали**
- 4. Оснащенность производства** (имеющееся технологическое оборудование)
- 5. Экономические факторы**

Технологические методы производства деталей машин из ПКМ, содержащих дисперсные наполнители

Методы производства дисперснонаполненных ПКМ на основе **термопластичных** связующих



- Литье под давлением;
- Штамповка;
- Экструзионно-выдувное формование;
- Ротационное формование;
- Пневмоформование;
- Вакуумформование.

Методы производства дисперснонаполненных ПКМ на основе **термореактивных** связующих



- Литье под давлением;
- Прессование литьевое (его также называют трансферным прессованием);
- Прессование компрессионное.

Основные классы термопластичных материалов, используемых при производстве дисперсно наполненных ПКМ

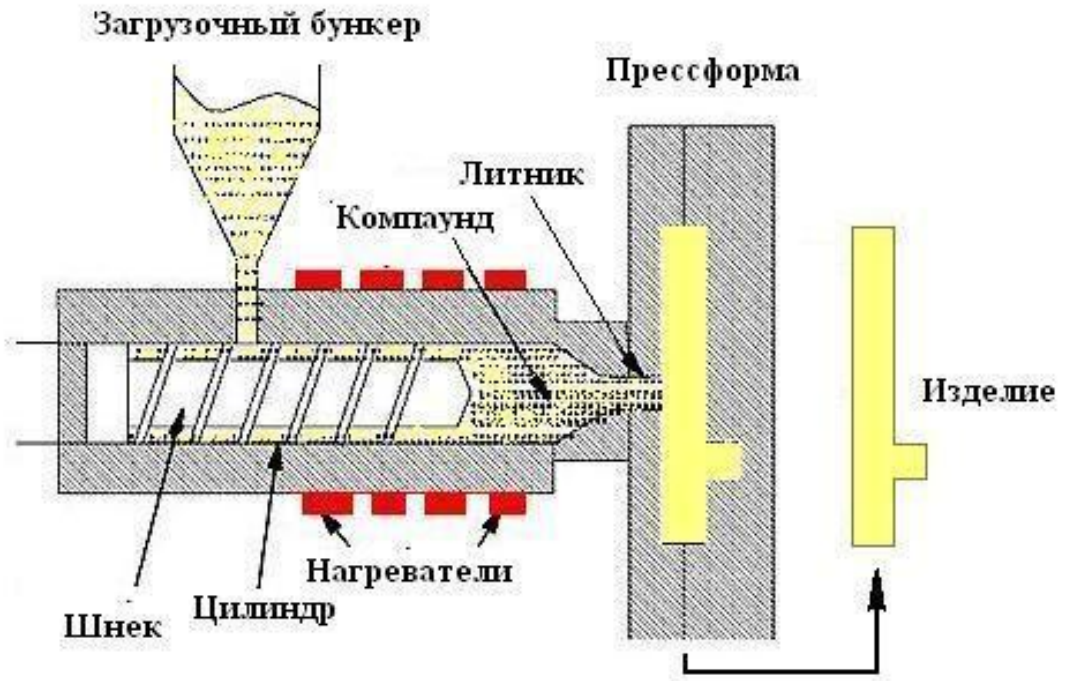
Назначение	Материалы	Максимальное значение рабочих температур , °С
Пластмассы общетехнического назначения	Полиэтилен; Полистирол; Полиакрилат	+80
Пластмассы инженерно-технического назначения	Полиамид; Поликарбонат; Полиацеталь	+150
Конструкционные пластики	Полиимид; Полисульфон; Полиарилат; Фторполимер	+200
Пластики специального назначения		

Литье под давлением деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термопластичных

Суть метода:

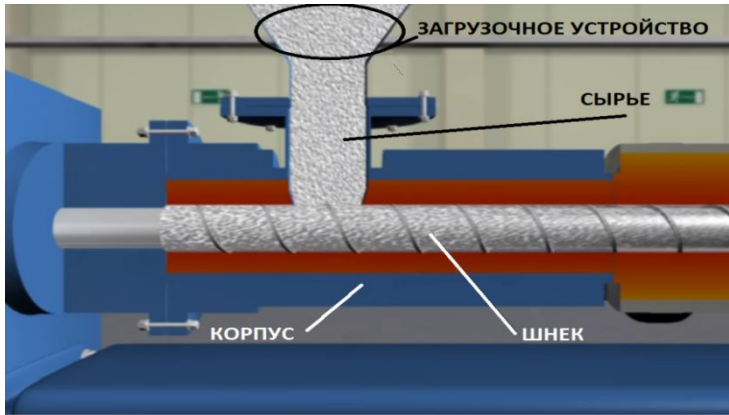
предварительно подготовленный расплав полимера подается в форму, где он охлаждается с образованием готового изделия.

Литьевые машины, используемые для производства деталей из термопластичных полимеров называют **термопластавтоматами**. Принципиальным отличием литьевых форм, используемых при производстве изделий термопластов является то, что они имеют охлаждающие устройства, тогда как при производстве изделий из реактопластов – они оснащаются нагревательными камерами.



Литье под давлением деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термопластичных

1. Гранулированное сырье подается из воронки в экструдер.

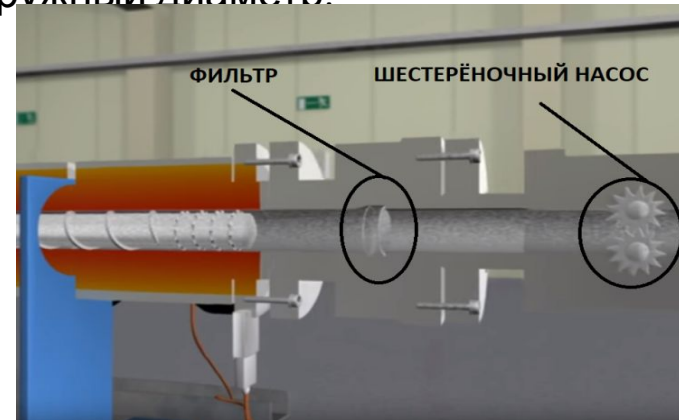


2. Далее, проходя через область с нагревательными элементами, сырье нагревается, превращаясь в вязко-текучую жидкость.



связующих

Далее, уже жидкое сырье, проходит через фильтрующую сетку, чтобы избежать попадания возможного загрязнения в готовую продукцию. Шестерёночный насос обеспечивает выход однородного материала в головку экструдера, где задается форма и наружный диаметр.



Литье под давлением деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термопластичных

связующих

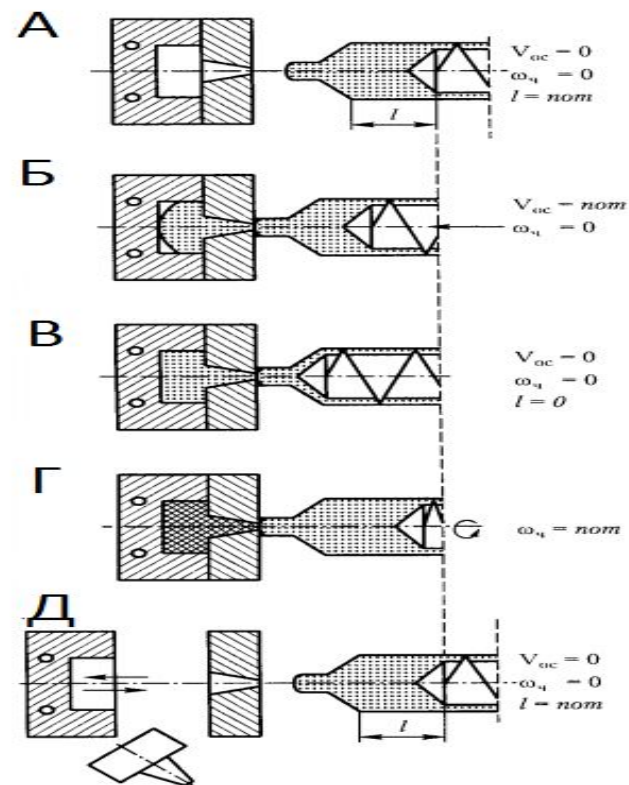
А. Расплав полимера подготавливается и накапливается в материальном цилиндре литьевой машины (в данном случае - червячного типа) к дальнейшей подаче в сомкнутую форму.

Б. Затем материальный цилиндр смыкается с узлом формы, а пластикатор (в нашем случае - невращающийся червяк) в процессе осевого движения перемещает расплав в форму.

В. Форма заполняется расплавом полимерного материала, а пластикатор смещается в крайнее левое (на рисунке) положение.

Г. Расплав в форме застывает (или отверждается - в случае реактопластов) с образованием твердого изделия. Цилиндр продолжает оставаться в сомкнутом с формой положении. Червяк начинает вращаться с заданной скоростью и занимает исходное положение.

Д. После завершения процесса затвердевания (отверждения) пластмассы форма размыкается, и изделие удаляется из нее. Далее цикл литья под давлением повторяется.



Литье под давлением: преимущества и недостатки

Преимущества:

- Высокая точность;
- Высокая производительность;
- Низкие затраты ручного труда;
- Универсальность по типам (химической природе) полимера;
- Возможность изготовления деталей самой различной геометрической формы.
- Позволяет получать детали массой от 0,001 гр. до 100 кг и даже более.

Недостатки:

- Высокая стоимость форм;
- Имеются ограничения на габариты и массу деталей;
- Высокая стоимость оборудования



Литье газонаполненных полимеров на основе термопластичных связующих

Суть метода: при литье с газом уплотнение полимера происходит за счет давления газа непосредственно на область изделия или вблизи этой области, поэтому процесс проходит легче, чем в обычном литье под давлением. Большинство вариантов литья с газом относится к технологии литья при низком давлении, т.к. заполнение полости полимером не требует высокого давления из-за большой толщины так называемых газовых каналов - утолщений, внутри которых движется газ. Типичное давление газа находится в пределах 50 - 200 атм., тогда как при обычном литье выдержка под давлением проводится в материальном цилиндре литьевой машины при 300 - 800 атм. Использование малого давления значительно снижает требования к

В качестве газа обычно применяется **азот**, который имеет низкую цену, инертен и доступен. Перед окончанием цикла литья азот откачивают из изделия и используют в следующих циклах. В некоторых вариантах технологии вместо азота используют **сжатый воздух**. Однако кислород, содержащийся в сжатом воздухе может взаимодействовать с расплавом ряда полимеров.



Литье газонаполненных полимеров: преимущества и недостатки

Преимущества:

- Данная технология позволяет получить изделия с хорошим качеством поверхности, без утяжек и коробления, с минимальным уровнем остаточных напряжений, т. е. с высокой стабильностью размеров;
- Возможность использования литьевых машин с существенно меньшим усилием замыкания, что дает большой экономический эффект при литье крупногабаритных изделий



Недостатки:

- Неравномерная толщина стенки полимера (наибольшая неравномерность толщины наблюдается на поворотах газовых каналов и при подаче газа в литьевую полость вблизи газовой иглы);
- По сравнению с обычным литьем процесс литья с газом накладывает большие требования к стабильности характеристик материала изделия, работы литьевой машины, термостатированию пресс-формы.

Данная технология используется для изготовления деталей из ПЭВП, ПП, ПС общего назначения, ударопрочного ПС, АБС, смеси АБС и поликарбоната, смеси АБС и полиамида, поливинилхлорида, полиамидов, полибутилентерефталата, полиэтилентерефталата, поликарбоната и др. материалов.

Литье под давлением со вспениванием деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термопластичных связующих

Суть метода: вспенивание полимерного материала осуществляется за счет газа (обычно это азот), растворенного в расплаве перед впрыском или генерируемого химическим порообразователем, который находится в смеси с полимером. Химический порообразователь должен иметь температуру разложения, очень близкую к температуре переработки основного материала термопласта. В определенный момент он разлагается, выделяя большое количества газа (двуокись углерода, азот), и происходит вспенивание с образованием необходимого количества пористого материала. В специальных случаях вместо химического порообразователя используют физические порообразователи или сжатый газ. Термопласт, образующий пористую структуру, может содержать и другие добавки, например, тонкодиспергированные неорганические порошки, и некоторые добавляются в качестве центров кристаллизации для обеспечения

В результате применения технологии литья со вспениванием (**Structural Foam Molding**) получают изделия, имеющие так называемую интегральную структуру: плотную оболочку и вспененную сердцевину. Это дает возможность получать крупногабаритные изделия без утяжин и деформаций, с высокой размерной точностью и ~~относительно малым весом~~. Распространен для изготовления таких изделий, как бункеры-магазины, поддоны и другие крупные изделия, для которых главным эксплуатационным требованием является высокая прочность и жесткость, значительное сопротивление изгибу.

Литье под давлением со вспениванием: преимущества и недостатки

Преимущества:

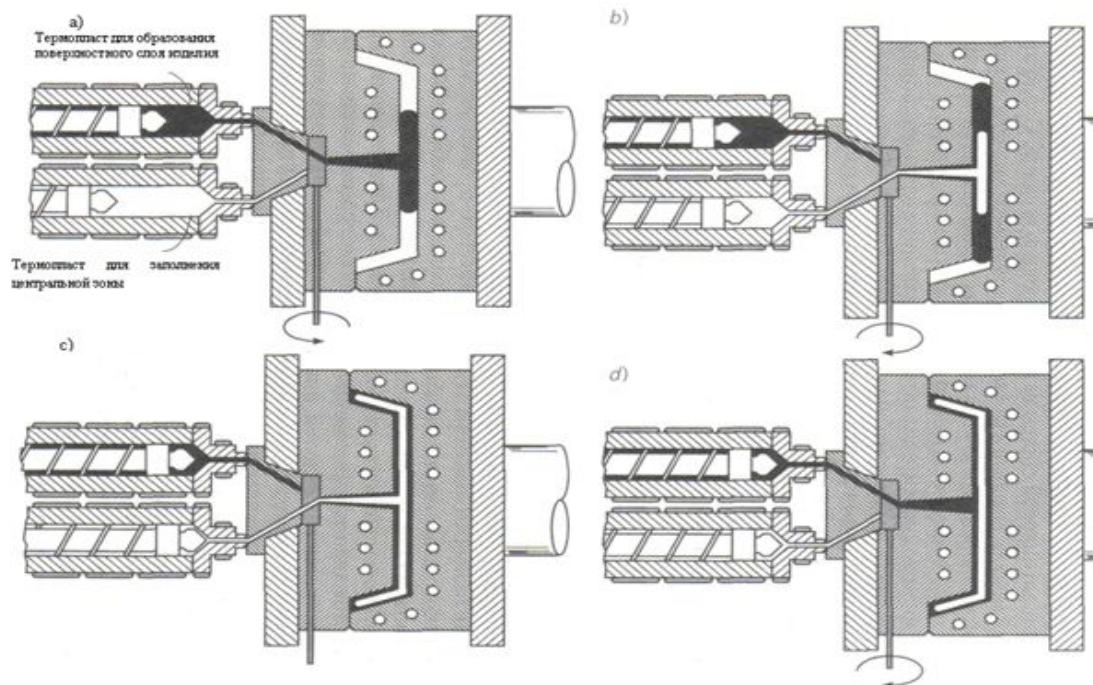
- Возможность изготавливать сложные толстостенные изделия без усадочных утяжек и с низким уровнем внутренних напряжений, следовательно, мало склонных к короблению и другим видам деформации;
- Величина усилия смыкания литьевых форм намного ниже, чем у обычных процессов литья под давлением;
- Низкое давление в формующей полости и меньшие усилия смыкания формы позволяют изготавливать формообразующие детали и литьевую форму из алюминия или «мягкой» стали, получать крупногабаритные изделия с большой поверхностью в плоскости разъема формы;
- Пористая структура сердцевины существенно, по сравнению с монолитным изделием, улучшает тепло- и звукоизоляционные характеристики изделия.

Недостатки:

- Возникновение вихревой структуры поверхности изделия (для улучшения внешнего вида поверхности необходима дополнительная обработка);
- Из-за уменьшения теплопроводности, связанного с наличием пористой структуры, время охлаждения таких изделий больше, чем изделий из сплошного материала;
- Механические свойства вспененных изделий могут быть существенно ниже, чем у обычных, даже несмотря на большую прочность на единицу веса.

Многокомпонентное литье под давлением деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термопластичных связующих

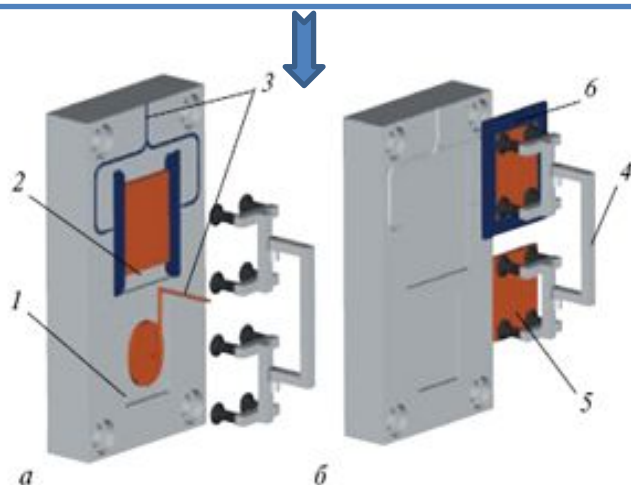
Суть метода: заключается в последовательном или одновременном впрыске нескольких различных, но совместимых материалов — поверхностного и базового — в одну формующую полость литьевой формы. В результате получают слоистые изделия, имеющие структуру типа «сэндвич», где базовый материал находится между слоями поверхностного. Технология обеспечивает универсальность за счет оптимального использования свойств каждого из материалов.



- a** – впрыск термопласта для образования поверхностного слоя изделия;
- b** – термопласт, предназначенный для заполнения центральной зоны изделия, поступает в центр формующей полости;
- c** – после завершения впрыска термопласта для центральной зоны (когда она уже почти заполнена) неповрежденный поверхностный слой равномерно покрывает массу, находящуюся в центральной зоне;
- d** – клапан возвращается в исходное положение, очищается и готов к следующему циклу.

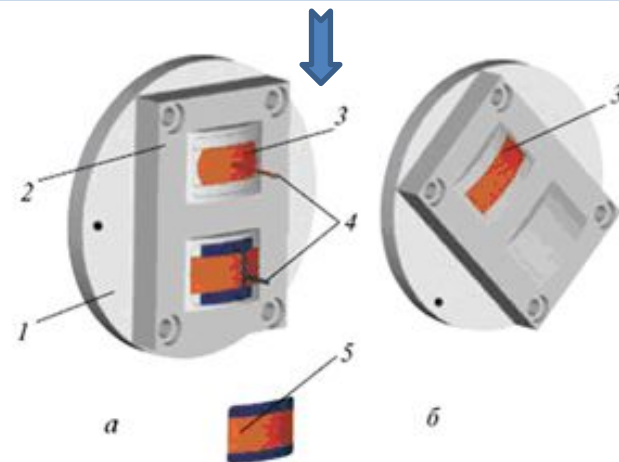
Варианты технологии многокомпонентного литья под давлением

1. Технология перемещения заготовки переносом – предварительно изготовленная в оформляющей полости одной литьевой формы заготовка вручную или с помощью робота переносится в другую оформляющую полость этой же литьевой формы.



а – одновременное литье первого и второго компонентов в оформляющие полости;
б – перенос заготовки в оформляющую полость и удаление готового изделия;
1, 2 – оформляющие полости; 3 – литник; 4 – робот; 5 – заготовка; 6 – готовое изделие.

2. Технология перемещения заготовки поворотом – перемещение предварительно отлитой заготовки в литьевой форме за счет поворота блока формы вокруг горизонтальной или вертикальной оси.



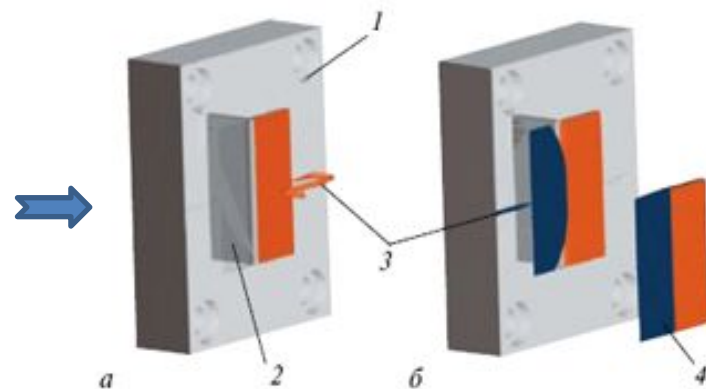
а – 1-я позиция; б – поворот во 2-ю позицию; 1 – поворотный стол; 2 – форма; 3 – заготовка; 4 – литники; 5 – готовое двухкомпонентное изделие.

Варианты технологии многокомпонентного литья под давлением

3. Технология совмещенного литья двух компонентов – одновременная или со сдвигом во времени подача расплавов двух компонентов в одну и ту же полость литейной формы.

4. Технология последовательного литья – последовательная подача расплавов двух компонентов в оформляющую полость литейной формы. Для второго компонента внутри полости формы освобождается дополнительное пространство путем удаления специальной заслонки или знака.

В данном процессе каждый цвет или компонент четко разграничен друг от друга; последующий компонент впрыскивается поверх предыдущего. Многоцветное литьё может предусматривать два, три или четыре компонента. При этом значительно увеличивается сложность конструкции пресс-формы. Для сложных конфигураций стыковки компонентов часто используют пресс-формы с поворотными модулями.



б – впрыск 2-го компонента;
1 – форма; 2 – разделительный элемент; 3 – литники; 4 – готовое изделие с четкой разграничительной линией между двумя компонентами.

Многокомпонентное литье под давлением: преимущества и недостатки

Преимущества:

- Позволяет снизить стоимость сырья, давление впрыска, усилие смыкания литейной формы, а также остаточные напряжения в готовом изделии;
- Позволяет достигнуть желаемого изменения свойств отливки и/или нужных технических эффектов.

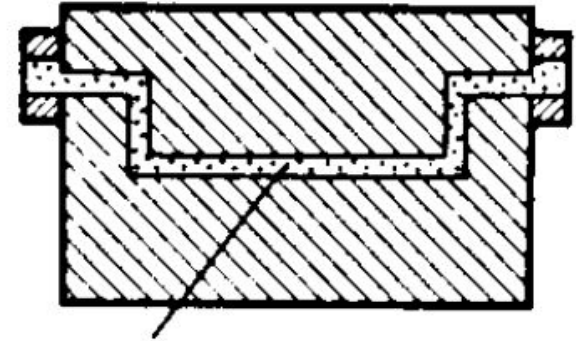
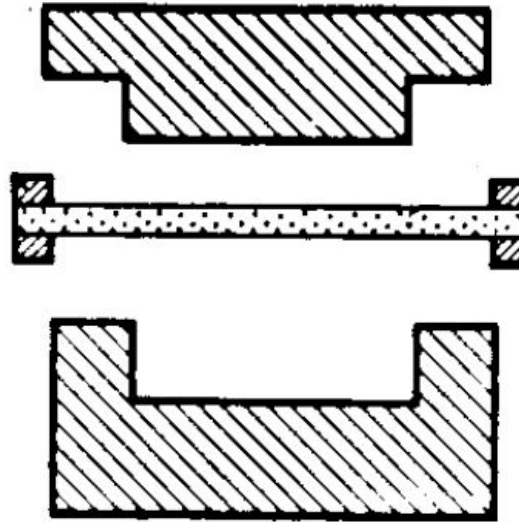


Недостатки:

- Необходимость использования более сложных литейных форм и узлов впрыска;
- Необходимость приобретения специальной системы управления.



Штамповка деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термопластичных связующих



Готовая деталь

Суть метода:

предварительно нагревая заготовка помещается в специальную форму, которую устанавливают на пресс, где и получают готовую деталь.

Преимущества:

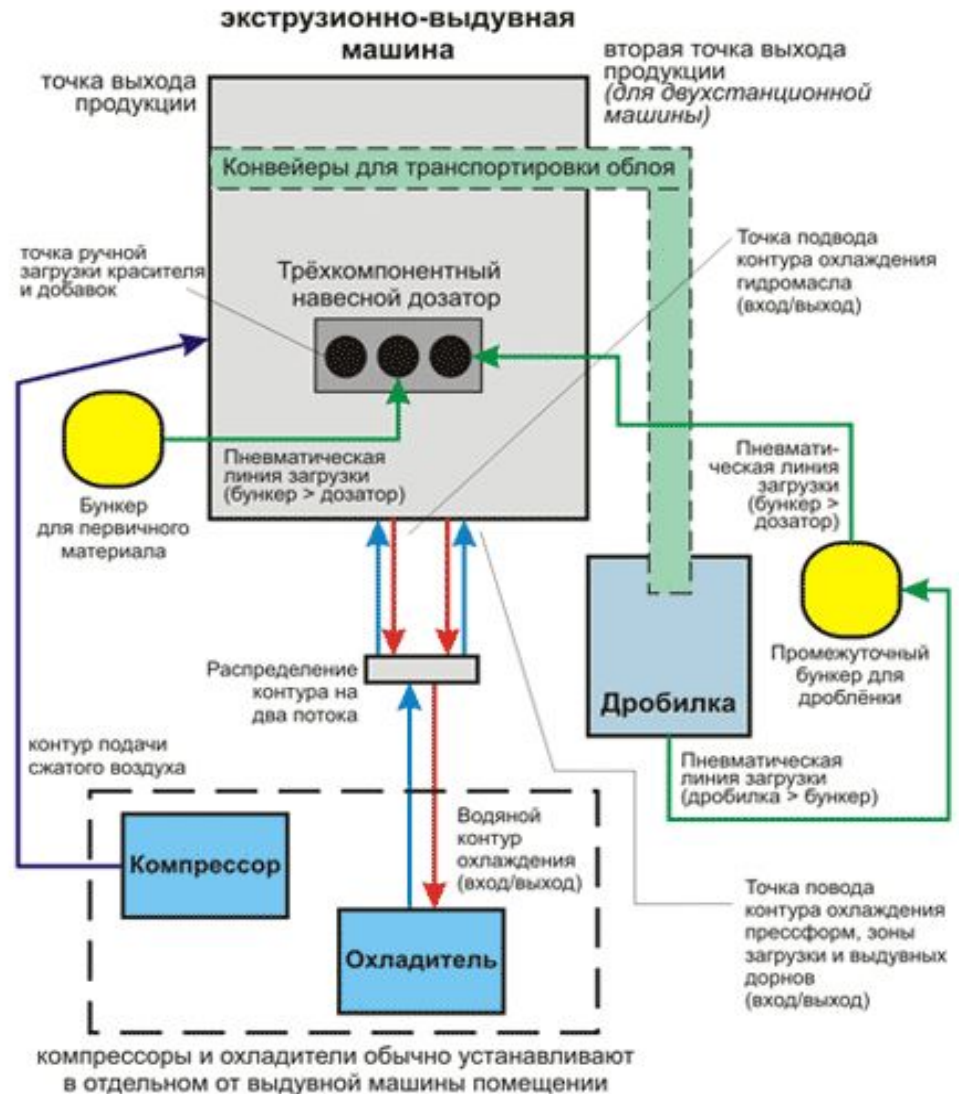
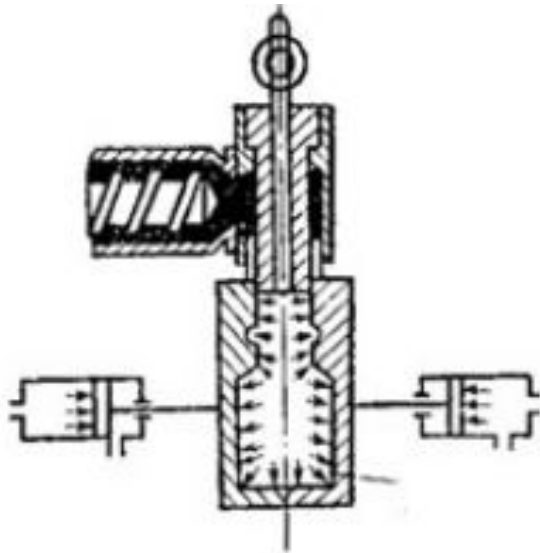
- Высокая точность;
- Высокая производительность.

Недостатки:

- Высокая стоимость оснастки;
- Высокая стоимость оборудования.
- Имеются ограничения на геометрию деталей.

Экструзионно-выдувное формование деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термопластичных связующих

Суть метода:
первоначально получают трубную заготовку, которую раздувают сжатым воздухом.



Экструзионно-выдувное формование: преимущества и недостатки

Преимущества:

- Возможность производства полых и объемных изделий;
- Высокая производительность;
- Полная автоматизация процесса;
- Программирование толщины стенки extrudированного рукава и его длины позволяют отформовать изделия с заданной толщиной стенок по сечению изделий;
- Повторное использование технологических отходов;
- Высокое качество изделий при минимально возможном весе изделий.

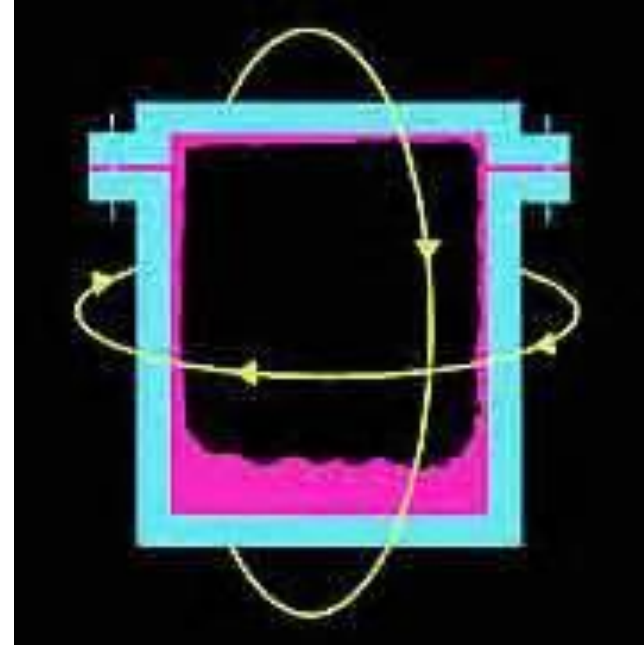
Недостатки:

- Высокая стоимость оснастки;
- Высокая стоимость оборудования;
- Готовые изделия нуждаются в дополнительной обработке.



Ротационное формование деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термопластичных связующих

Суть метода: материал помещается в форму, которая вращается относительно своей оси (горизонтальной или вертикальной).



Ротационное формование: преимущества и недостатки

Преимущества:

- Возможность производства изделий различных габаритов;
- Возможность изготовления тонкостенных изделий с высокой точностью;
- Простота и низкая стоимость оснастки



Недостатки:

- Ограничения на геометрические формы получаемых изделий;
- Высокая стоимость оборудования.



Вакуумформование деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термопластичных связующих

Основные этапы ТП

Суть метода: процесс формования деталей проводится за счет разности давлений, возникающих в предварительно отвакуумированной полости.



1. Заготовку прижимают по периметру к рабочей камере вакуум-формовочной машины прижимной рамой над технологической формующей оснасткой.

2. С помощью нагревательного устройства заготовку разогревают до высокоэластического состояния и она вытягивается

3. В полости, образованной поверхностями заготовки и формующей матрицы (или формующего пуансона), создают разрежение, в результате чего за счет возникающего перепада давления пластифицированная заготовка прижимается к формующему инструменту под внешним давлением воздуха и происходит формование изделия.

4. После охлаждения изделия до температуры его формоустойчивости его извлекают (снимают) с формующего инструмента, предварительно открыв прижимную раму.

Вакуумформование: преимущества и недостатки

Преимущества:

- Возможность автоматизации;
- Метод может быть использован для очень большого класса полимеров (в том числе и термореактивных);
- Позволяет изготавливать детали с низкой или большой серийностью с умеренными затратами, существенно сниженными, чем при литье под давлением



Недостатки:

- Наличие ограничений на форму получаемых изделий.



Пневмоформование деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термопластичных связующих

Суть метода: процесс формования деталей проводится сжатым воздухом из заготовок в виде пленки или листа, нагретых до температур, при которых осуществляется высокоэластическая деформация полимера.

Отличается от вакуумного формования только тем, что перепад давления создают за счет использования в качестве рабочей среды сжатого газа, как правило, сжатого воздуха, с избыточным давлением до 2,5 МПа.



Пневмоформование: преимущества и недостатки

Преимущества:

- Низкая энергоемкость;
- Простота ТП;
- Возможность автоматизации;
- Низкая стоимость оснастки;
- Метод может быть использован для очень большого класса полимеров (в том числе и термореактивных).

Недостатки:

- Наличие ограничений на форму получаемых изделий.



Виды формования

Позитивное формование (формование на пуансоне)



Внутренняя поверхность изделия в точности воспроизводит форму или рисунок формующего инструмента, потому что заготовка прилегает к технологической оснастке своей внутренней стороной. Там, где у положительных форм образуется участок меньшей толщины, у отрицательных форм возникает участок большей толщины.

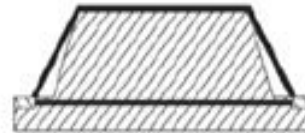
Следует использовать при высоких требованиях к допускам, так как при охлаждении деталь сжимается на инструменте.

Позитивное формование

Позитивная технологическая оснастка и заготовка



Механическая вытяжка



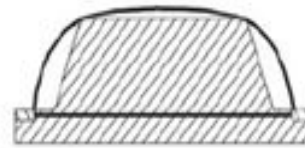
Введения разряжения



Позитивная технологическая оснастка и заготовка



Пневматическая вытяжка



Введения разряжения



Виды формования

Негативное формование (формование в матрице)



Дает возможность получать изделия, наружная поверхность которых в точности воспроизводит форму или рисунок внутренней поверхности матрицы.

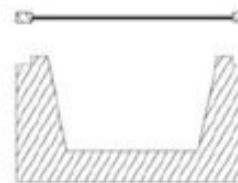
- Если необходимо получить изделие с хорошей **внутренней поверхностью**, то рекомендуется формование **на пуансоне**.
- Если требования предъявляются к **внешней поверхности** изделия, то наоборот рекомендуется формование **в матрице**.

Негативное формование

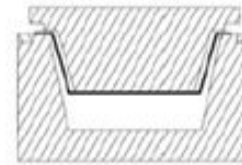
Негативная технологическая оснастка и заготовка



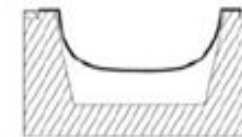
Негативная технологическая оснастка и заготовка



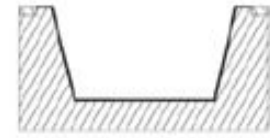
Механическая вытяжка



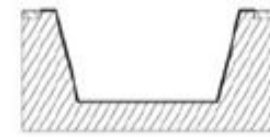
Пневматическая вытяжка



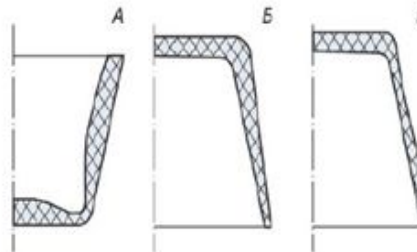
Введения разряджения



Введения разряджения



Примеры толщин стенок при различных видах формования



А - негативное формование,
Б - позитивное формование,
В - позитивное формование с
предварительной механической
вытяжкой

Зависимость величины индекса текучести расплава от метода формования изделий из ПКМ

Тип материала	Индекс текучести расплава	Метод формования
Полиэтилен низкого давления	0,2	Прессование
	0,3	Экструзия
	0,4	Экструзия
	0,5	Экструзия
	1,0	Литье
	1,5	Литье
	2,0	Литье
Полиэтилен высокого давления	0	Прессование
	0,1	Прессование
	0,2	Литье
	0,5	Литье
Полиамид	1	Экструзия
	2	Литье
	5	Литье
	10	Раздув
Полисульфон	1	Экструзия
	2	Экструзия
	5	Литье
	20	Литье
Поликарбонат	1	Экструзия
	2	Экструзия
	5	Литье
	10	Литье

Основные классы термореактивных материалов, используемых при производстве дисперсно наполненных ПКМ

Химическая природа полимера	Максимальное значение рабочих температур , °С
Фенопласты	+ 120 ... 250
Аминопласты	
Эпоксидные полимеры	+80 ... 200
Полимеры на основе ненасыщенных полиэфирных смол	+ 50 ... 150
Кремнийорганические полимеры	+ 180 ... 300

Технологии изготовления деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термореактивных связующих

Изготовление из
неподготовленных
дисперсных наполнителей

Изготовление из
Премиксов

Премиксом (формовочным компаундом) называют полуфабрикат, используемый при производстве изделий из дисперсно-наполненных ПКМ. Премикс представляет собой тестообразную смесь термореактивного связующего (обычно на основе ненасыщенной полиэфирной смолы), минерального дисперсного наполнителя с добавлением рубленного волокнистого наполнителя (обычно стекловолокна). Далее из премикса методами литья под давлением или прессованием изготавливают детали.



Технологии прессования деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термореактивных связующих

Особенности технологии прессования деталей из термореактивных полимеров:

- 1) Сырьем при прессовании является пресс-материал, который может быть в виде порошка или гранул;
- 2) В процессе изготовления изделий материал переходит из твердого состояния в вязкотекучее и после отверждения опять в твердое;
- 3) Прессование осуществляют на гидравлических прессах в обогреваемых пресс-формах.

**Основные технологические операции
прессования изделий из термореактивных
полимеров:**

1. Дозировка пресс-материала;
2. Предварительный подогрев;
3. Загрузка в пресс форму;
4. Прессование;
5. Извлечение готового изделия.

Литьевое прессование (Injection-Compression Molding) деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термореактивных связующих

Суть метода: полимер в вязко-текучем состоянии впрыскивается под давлением в полость литьевой формы. Отверждение происходит непосредственно в процессе прессования при заданной температуре и давлении.

Простейшим вариантом технологии является **двухстадийный процесс литьевого прессования**, состоящий из стадии впрыска и стадии прессования. В ходе впрыска полимер поступает под давлением в полость, глубина которой на 0,5 - 10 мм больше толщины изделия. После окончания впрыска начинается стадия прессования, в течение которого глубина полости уменьшается до заданного значения. Усилие прессования, приложенное к литьевой форме, заставляет расплав заполнить оставшиеся незаполненными зоны, а затем происходит его уплотнение, компенсирующее усадку в процессе охлаждения.

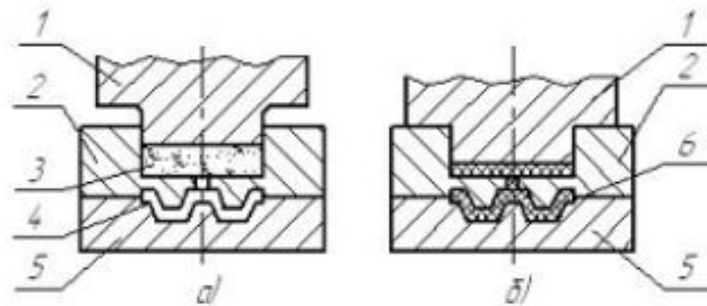
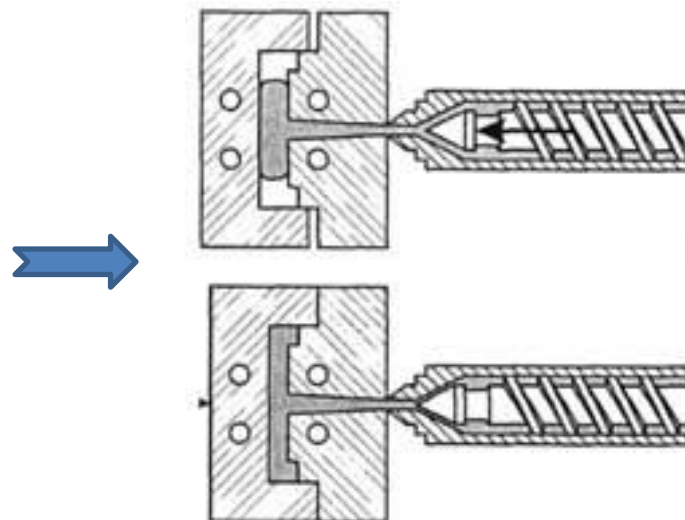


Схема литьевого прессования: 1 - пуансон, 2, 5 - детали пресс-формы, 3 - пресс-материал, 4 - оформляющая полость, 6 - изделие



Литьевое прессование: преимущества и недостатки

Преимущества:

- Возможность производства изделий различной геометрической формы, в том числе и резьбовых поверхностей и отверстий;
- Высокая точность.
- Возможность производства изделий со стабильными размерами и относительным отсутствием остаточных напряжений при низком давлении впрыска;
- Возможность добиться снижения усилия смыкания формы (обычно на 20 - 50%) и сокращения времени цикла.
- Обеспечивает более равномерное распределение давления уплотнения/выдержки расплава, а величина давления при этом существенно меньше.

Недостатки:

- Ограниченный выбор полимеров, поскольку они должны быстро отверждаться при температуре прессования;
- Высокая стоимость оснастки и оборудования (литьевые формы для этого технологического процесса относительно дороги и изнашиваются в процессе прессования);
- Экономически технология оправдана только в рамках крупносерийного производства или при получении изделий, в которых необходимы минимальные внутренние остаточные напряжения.

Компрессионное прессование деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термореактивных связующих

Суть метода: полимер в виде порошка или таблеток загружается в пресс форму. Растекание по внутренней поверхности пресс-формы происходит непосредственно в процессе отверждения при заданной температуре и давлении.

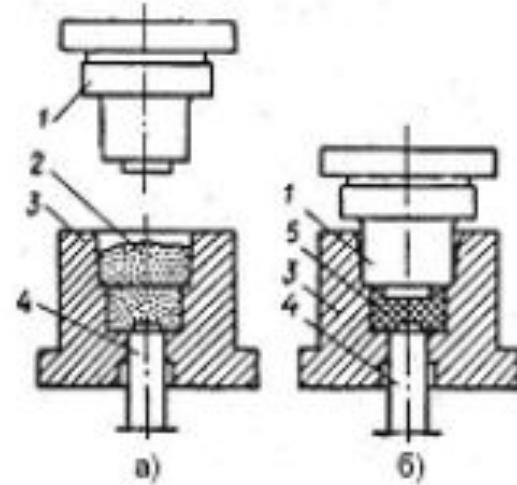


Схема компрессионного прессования: 1 - пуансон, 2 - пресс-порошок, 3 - матрица, 4 - выталкиватель, 5 - изделие

Преимущества:

- Возможность производства изделий различной геометрической формы, в том числе и резьбовых поверхностей и отверстий;
- Высокая точность.

Недостатки:

- Еще более ограниченный чем при литьевом прессовании выбор полимеров, поскольку он должен быстро отверждаться при температуре прессования;
- Высокая стоимость оснастки и оборудования.

Литье под давлением деталей из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термореактивных связующих

Суть метода: полимер в виде гранул (порошка) предварительно подогревается и подается в форму, где он отверждается с образованием готового изделия.



Литьевые машины, используемые при производстве деталей из термореактивных полимеров называют **реактопластавтоматами**.

Преимущества:

- Высокая точность;
- Высокая производительность;
- Низкие затраты ручного труда;
- Возможность изготовления деталей самой различной геометрической формы.

Недостатки:

- Высокая стоимость форм;
- Высокая стоимость оборудования.
- Имеются ограничения на габариты и массу деталей.

Основные научные проблемы, связанные с изготовлением деталей из дисперсно наполненных полимеров.

Каждая система полимер-наполнитель имеет свои особенности, что не позволяет разработать общие рекомендации по разработке технологических процессов производства из них деталей.

1. Равномерность распределения наполнителя в термопластичном полимере во многом зависит от характера течения расплава при заполнении формы, который в свою очередь определяется молекулярно-массовым распределением, величина которого для каждой партии материала индивидуальна;
2. При заполнении формы одновременно имеют место три типа течения (сдвиговое, конвергентное и дивергентное). При сдвиговом течении происходит разориентация частиц наполнителя, при конвергентном течении частицы наполнителя ориентируются вдоль оси основного течения, а при дивергентном – поперек;
3. Равномерность распределения наполнителя в термопластичном полимере во многом зависит от геометрии формы;
4. Все термореактивные полимеры после отверждения имеют гетерогенные микроструктуры, которая представляет собой динамическую систему, изменяющуюся в течение всего жизненного цикла детали;
5. Заполнение формы носит послойный характер, что оказывает влияние на свойства получаемой детали.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!