

Технология производства полимерных труб

Технологическая схема, полимерные материалы, особенности процесса, виды брака



Изготовление труб, шлангов, профилей

Процесс получения гладких, перфорированных, армированных, гофрированных труб, шлангов, изоляции кабелей и профилей имеет множество общих стадий технологической схемы.

Основными и общими элементами схемы являются:

- формование исходной заготовки методом экструзии расплава через головку соответствующего профиля;
 - калибровка (для изделия с большой размерной точностью);
 - одно- и двухстадийное охлаждение готового изделия;
 - соответствующее профилю тянущее устройство.
- намоточное или обрезное устройство

Под трубами понимают изделия кольцевого сечения закрытого профиля цилиндрические или гофрированные диаметром от 5 до 2000 мм.

Тонкостенные изделия с толщиной стенки 1-1,5 мм диаметром до 25 мм принято называть шлангами. Трубки диаметром менее 5 мм со стенками толщиной менее 0,5 мм называют капиллярами. Название «труба» является обобщающим.

Полимеры для производства труб, преимущества

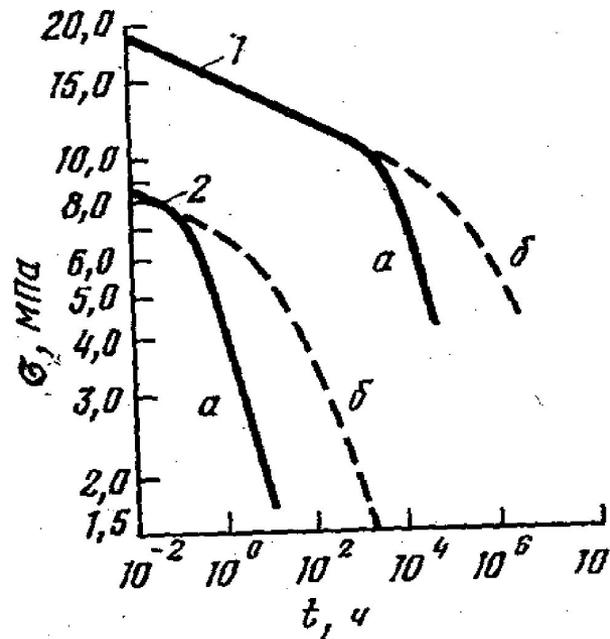
Трубы изготавливают из высоковязких сортов полимеров. Для их производства применяют полиэтилен низкой плотности, полиэтилен высокой плотности (ПЭ-63, ПЭ-80, ПЭ-100), жесткий и пластифицированный поливинилхлорид, полипропилен (блоксополимер, статсополимер), АБС-пластик, ударопрочный полистирол, ПК.

В зависимости от свойств используемых полимеров пластмассовые трубы могут обладать не только низкой плотностью, щелоче-, кислотостойкостью, но и термостойкостью до 120-150°С, высокими электроизоляционными свойствами, бензо- и маслостойкостью, не ржавеют в процессе использования. Пропускная способность пластиковых труб больше, чем металлических, вследствие незначительных потерь на преодоление трения жидкости о полимерную поверхность.

Использование полимерных труб обычно дает ощутимый экономический эффект: затраты на транспортировку и монтаж сокращаются по сравнению со стальными трубами в несколько раз, значительный срок службы (около 50 лет), отсутствие расходов в период эксплуатации. В результате монтаж, например, выполненный из труб и фитингов из полипропилена, даст удешевление на 15–20% по сравнению с трубопроводом, выполненным из стальных оцинкованных труб.

Ещё одно важное достоинство пластмассовых труб - технологичность их соединения в трубопроводные системы.

Прочность при длительной эксплуатации труб из ПНД



Изменение прочности при длительной эксплуатации труб из ПЭНД с ПТР 1,6 г/10 мин (а) и 0,5 г/10 мин (б) при температуре 20 °С (1) и 80 °С (2).

Технологические режимы экструзии труб

Вид полимера	Вид изделия	Температура, °С		Удельное давление, МПа
		расплава	Формующего инструмента	
Полиэтилен высокой плотности	Трубы напорные для контакта с пищевыми продуктами	160-220	160 -230	0,05 -0,15
	Трубы безнапорные, профили	150-120	160-210	0,02 -0,15
Полиэтилен низкой плотности	Трубы	170-220	120 -230	0,1-1,0
Сополимер этилена с винилацетатом	Трубы	125-150	145-160	«-»
Полипропилен	Трубы	120-250	190 -260	«-»
Блоксополимер пропилена с этиленом	Трубы	170-230	190 -250	«-»
ПВХ непластифицированный	Трубы	140-160	150-170	«-»
ПВХ пластифицированный	Трубки	150-120	160-190	«-»

Нормативная документация на трубы из пластмасс

ГОСТ 18599-2001 Трубы напорные из полиэтилена.

Настоящий стандарт распространяется на напорные трубы из полиэтилена, предназначенные для трубопроводов, транспортирующих воду, в том числе для хозяйственно-питьевого водоснабжения, при температуре от 0 до 40 °С, а также другие жидкие и газообразные вещества. Диаметр от 10 до 1200 мм.

Для напорных труб важен показатель MRS:

Минимальная длительная прочность **MRS** (МПа): Напряжение, определяющее свойства материала, применяемого для изготовления труб, полученное путем экстраполяции на срок службы 50 лет при температуре 20 °С данных испытаний труб на стойкость к внутреннему гидростатическому давлению с нижним доверительным интервалом 97,5 % и округленное до ближайшего нижнего значения ряда R10 по ГОСТ 8032.

Выбор марок ПНД происходит на основе MRS: для труб с MRS=6,3 применяют марки ПЭ-63.

ГОСТ Р 50838-2009 «Трубы из полиэтилена для газопроводов» распространяется на трубы из ПНД 80 и ПНД 100 для подземных газопроводов.

Для канализационных труб и фитингов к ним из ПНД и ПВД есть свои стандарты - **ГОСТ 22689.0-89** и **ГОСТ 22689.2-89**.

Трубы ПВХ электротехнические и для канализации изготавливают по ГОСТ 51613-2000 «Трубы напорные из непластифицированного поливинилхлорида» и

ГОСТ 32412-2013 «Трубы и фасонные части из непластифицированного поливинилхлорида для систем внутренней канализации.»

Трубы из термопластов производят также по межгосударственному стандарту **ГОСТ 32415-2013**. Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Распространяется на трубы диаметром от 10 до 1600 мм из ПП, ПНД, ПВХ, ПВД.

Пример карты технологического процесса производства труб из ПНД

Сырье

Наименование	Марка	ГОСТ	Плотность, кг/м ³	Показатель текучести расплава		Летучие вещества, %	Зольность, %
				Предельные значения, г/10 мин	Допустимый разброс, %		
Полиэтилен Высокой плотности	20306-003	16338-70	940	0,3 -0,6	±0,15	0,1	0,025

Характеристика готового изделия

Типоразмер	ГОСТ	Наружный диаметр, мм		Толщина стенки, мм		Предел текучести при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Длина отрезков, м	Диаметр бухты, м		Масса, кг	
		номинальный	допустимое отклонение	номинальная	допустимое отклонение				наружный	внутренний	1 погонный метр	пачки, бухты
110×6,2 С	18599-73	110	+1,8	6,2	+0,8	21	210	6	-	-	2,04	80

Процесс производства полимерных труб

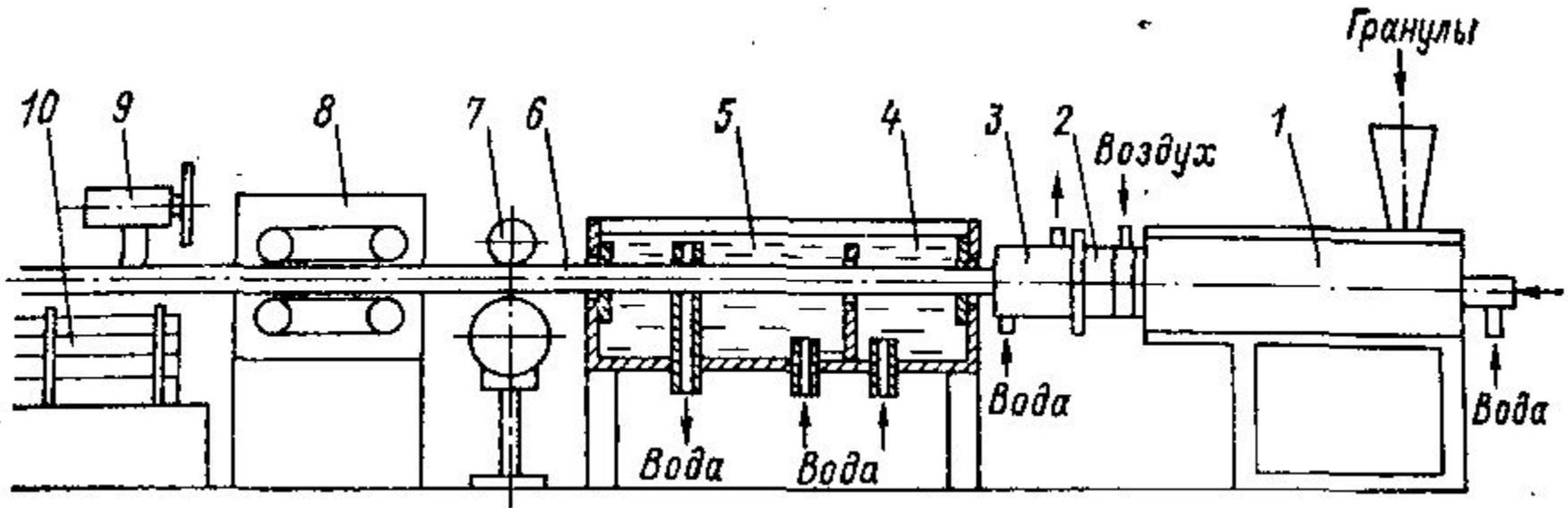


Гранулированный полимерный материал пневмозагрузчиком подается в бункер экструдера, нагревается, пластицируется и в виде расплава под давлением подается в прямооточную формующую головку, из которой отформованная труба поступает в калибратор и далее в охлаждающую ванну. Для отвода трубы служит тянущее устройство, профиль захватывающих элементов которого соответствуют профилю изделия. Толщина стенки трубы и правильность ее геометрической формы контролируются бесконтактным измерительным устройством.

Для нанесения надписей служит счетно-маркирующее устройство.

Трубы диаметром более 50 мм нарезаются на отрезки заданной длины дисковой или гильотинной пилой, перемещающейся вдоль трубы со скоростью ее отвода, и укладываются манипулятором в штабеля. Трубы диаметром менее 50 мм наматываются в бухты тянуще-намоточным устройством.

Схема производства труб из термопластов



1- экструдер; 2 - формующая головка; 3 - калибрующая насадка; 4 и 5 — первая и вторая зоны охлаждения; 6 — труба; 7 — измерительно-маркирующее устройство; 8-тянущее устройство; 9 — отрезное устройство; 10 — приемный стол (штабелирующее устройство)

Охлаждение трубы в водяной ванне

Охлаждение труб проводится орошением их водой или пропусканьем через водяную ванну. Основное требование к этой операции - равномерное и быстрое охлаждение расплава. В ванне обеспечивается интенсивное перемешивание жидкости, для чего устанавливают *барботажные трубки, разбрызгивающие форсунки или создают спиральный поток воды вокруг трубы*. Интенсивное перемешивание необходимо также для удаления пузырьков воздуха, оседающих на поверхности трубы и нарушающих теплообмен. Температура охлаждающей воды обычно выбирается в зависимости от вида полимера, а также с учетом требований, предъявляемых к трубам. По торцам ванны имеются отверстия для входа и выхода трубы. Эти отверстия имеют резиновые манжеты, плотно прилегающие к скользящей поверхности движущейся трубы. Манжеты не пропускают воду наружу из ванны. Внутри ванны помещаются ролики, которые поддерживают трубу.



Тянущее устройство

Тянущее устройство предназначено для отвода изделия от формующей головки и перемещения его через охлаждающую ванну. В соответствии с профилем изделия применяют роликовые, гусеничные, комбинированные устройства с механическим, гидравлическим и пневматическим зажимом изделия, элементы тянущего устройства обрезаются для лучшего сцепления с поверхностью изделия. Наиболее широко применяются устройства гусеничного типа. Тянущее устройство должно комплектоваться приводом с плавной регулировкой и прибором для оценки линейной скорости отводимого изделия, что важно, во-первых, для компенсации разбухания экструдата, во-вторых, отношение скорости отвода к скорости выхода экструдата определяет степень вытяжки трубы и ее свойства в продольном и поперечном направлениях (осевая ориентация).



Резка труб или намотка

Резка труб осуществляется пилами различной конструкции (циркульной, ленточной). В процессе резки пила перемещается вместе с трубой и после завершения цикла возвращается в исходное положение. После резки устанавливают штабелер для складирования труб.

Намотка труб. При производстве безнапорных труб из полиэтилена или ПП-труб малого диаметра вместо штабелера может использоваться **автоматический намотчик**, оснащенный регулируемым по диаметру намоточным барабаном, электроприводом и системой счетчика метража, позволяющий получать на выходе бухты заданной длины. Для намотки тонких труб, кабелей используют тяговые барабаны диаметром 400...2500 мм.



Отрезное устройство



Намоточное устройство

Экструдеры в трубной линии

Используют в основном одношнековые экструдеры с длиной шнека $(25-30)D$.

Применение длинных шнеков способствует уменьшению пульсации расплава и повышению качества изделий.

При производстве тонкостенных изделий используют экструдеры с осевым перемещением шнеков, позволяющим регулировать зазор между концом шнека и трубной головкой.

Двухшнековые экструдеры применяют для производства труб из жесткого ПВХ.

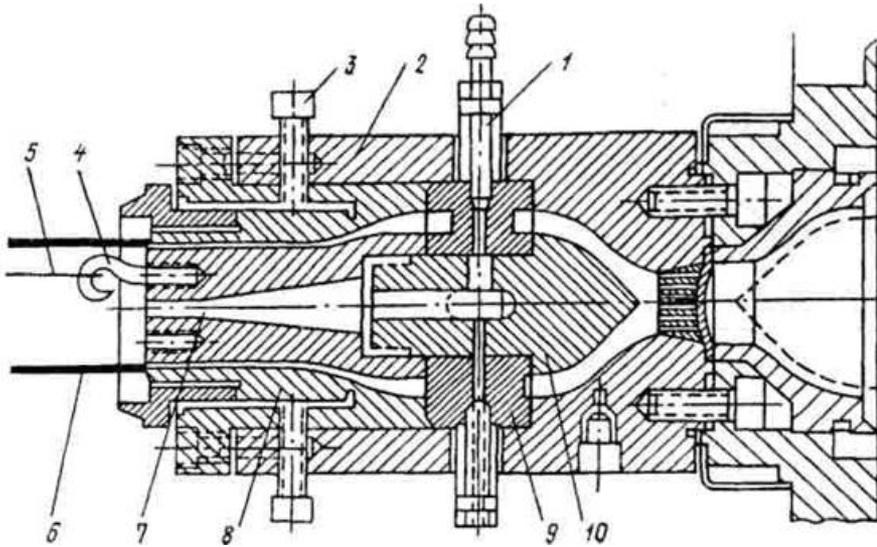
В современных линиях для производства труб диаметром более 1000 мм с толщиной стенки более 25 мм, используют высокопроизводительные двухшнековые экструдеры.



Одношнековый экструдер

Виды экструзионных трубных головок

Формование профиля трубы осуществляется за счет течения расплава полимера через кольцевую щель головки. Используют прямоточные (наиболее часто) или угловые формующие головки.



Прямоточная кольцевая головка для изготовления труб и шлангов:

1 - штуцер для подвода сжатого воздуха; 2 - корпус; 3 - регулировочные винты; 4 - крепежное устройство; 5 - трос или цепь для удержания скользящих пробок в калибрующем устройстве (для калибровки по наружному диаметру); 6 - трубная заготовка; 7 - канал для подачи в трубу сжатого воздуха; 8 - мунштук; 9 - дорнодержатель; 10 - дорн.

Корпус головки состоит из двух частей, между которыми закреплена радиальная решетка дорнодержателя. В переднюю часть корпуса вставляется формующее кольцо (мунштук), крепящееся к корпусу фланцем.

На решетке дорнодержателя закреплен дорн с рассекателем. В решетку дорнодержателя вставлен штуцер для подвода сжатого воздуха внутрь трубы. Расплав полимера из цилиндра экструдера через пакет фильтрующих сеток течет в кольцевом зазоре между патрубком и рассекателем дорна и входит в отверстия решетки дорнодержателя, где ребрами разделяется на несколько параллельных потоков. Чтобы не было застойных зон, ребра решетки дорнодержателя имеют обтекаемую форму.

После решетки дорнодержателя расплав вновь поступает в кольцевой канал, образованный второй частью корпуса и дорном. Равномерность зазора формующего кольца регулируется винтами в радиальных направлениях относительно дорна.

Длина формующего канала обычно принимается кратной глубине канала h и должна быть равна $l/h = 15 - 30$ без применения калибра, при калибровании -5-20.

Трубная головка для ПЭ труб большого диаметра



Конструкции формующих головок должны удовлетворять следующим общим требованиям:

- 1) равномерное течение расплава по периметру головки;
- 2) отсутствие линий спаев;
- 3) плавный переход от одного участка канала к другому;
- 4) равномерное нагревание расплава по периметру;
- 5) отсутствие застойных зон;
- 6) форма канала выбирается из условия эксплуатации и области применения труб.

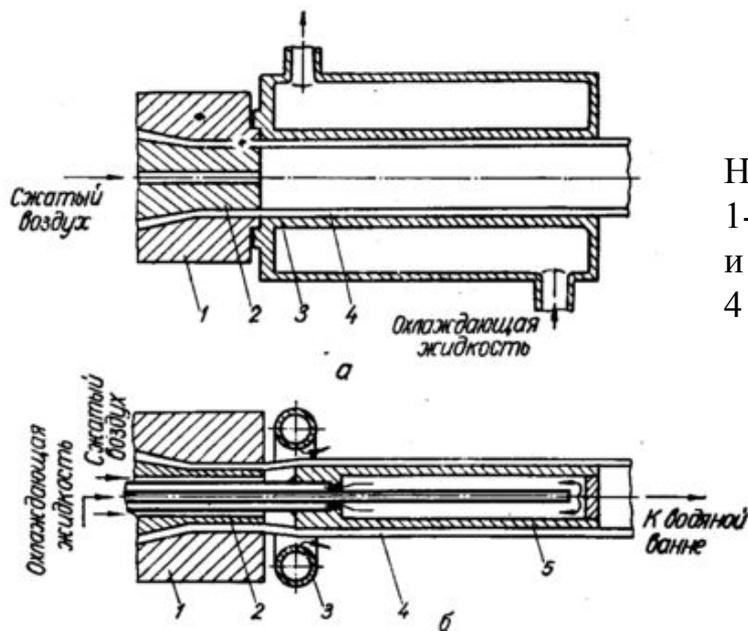
Калибрование труб

Для придания профилю экструдата заданных размеров и исключения его деформации в охлаждающем устройстве трубы калибруют, т.е. предварительно охлаждают с одновременным обеспечением определенной конфигурации и размеров.

Калибрование труб осуществляется по наружному и внутреннему диаметру.

Чаще трубы калибруют по наружному диаметру, что важно для стыкования и соединения при дальнейшем использовании.

Тонкостенные шланги и капиллярные трубки калибруют по внутреннему размеру, поскольку они присоединяются к различным штуцерам.



Наружная (а) и внутренняя (б) калибровка труб:
1- мундштук, 2 – дорн, 3 – калибровочная насадка (а)
и сопло для подачи охлаждающего воздуха (б),
4 – полиэтиленовая труба, 5 – калибровочный дорн

Необходимость калибрования труб

Для придания калибруемому изделию требуемой формы с последующим ее сохранением процесс должен начинаться при температуре, близкой к температуре плавления термопласта $T1 \leq T_{пл}$, а заканчиваться при затвердевании расплава, то есть при температуре ниже температуры размягчения $T2 < T_r$. Поэтому калибратор располагают в непосредственной близости от головки на расстоянии 30-100 мм. Скольжение трубы по калибрующей втулке сопровождается интенсивным теплоотводом и охлаждением изделия.

С увеличением температуры экструдата условия для релаксации напряжений улучшаются, однако перепад температур между поверхностью трубы и калибровочного устройства также растет. *Чем выше перепад температур, тем больше вероятность создания остаточных напряжений.* Если при этом увеличить и температуру поверхности калибрующей насадки, то произойдет наиболее полная релаксация внутренних напряжений. Долговечность изделий увеличивается. Однако в этом случае необходимо увеличить длину калибрующей насадки. Калибрование можно проводить с использованием сжатого воздуха или вакуума.

Давление калибрования выбирается в зависимости от диаметра трубы, толщины ее стенки, а также от свойств полимеров и температуры расплава и подбирается экспериментально при запуске установки: при слишком низком давлении ухудшается внешний вид труб (образуется поверхностная рябь), а при чрезмерно большом снижается прочность из-за возрастания коэффициента трения и появления микротрещин.

Для поддержания внутри трубы давления конец её закрывают пробкой.

Калибрование сжатым воздухом

При калибровании по наружному диаметру с использованием сжатого воздуха трубчатая заготовка поступает внутрь металлической гильзы калибратора. При подаче сжатого воздуха внутрь трубы происходит частичное раздувание ее по диаметру, вследствие чего труба на выходе из головки плотно прилегает к охлаждаемым стенкам калибрующей гильзы. Для предотвращения разрушения экструдата насадка крепится вплотную к головке, а в рубашку калибрующей насадки подается охлаждающая жидкость. Для исключения прилипания расплава, гильза насадки охлаждается до температуры, которая всегда должна быть ниже температуры стеклования или плавления. При охлаждении на поверхности трубы образуется слой твердого полимера, который после выхода из насадки должен выдерживать внутреннее давление воздуха, а также силы трения, возникающие в насадке.

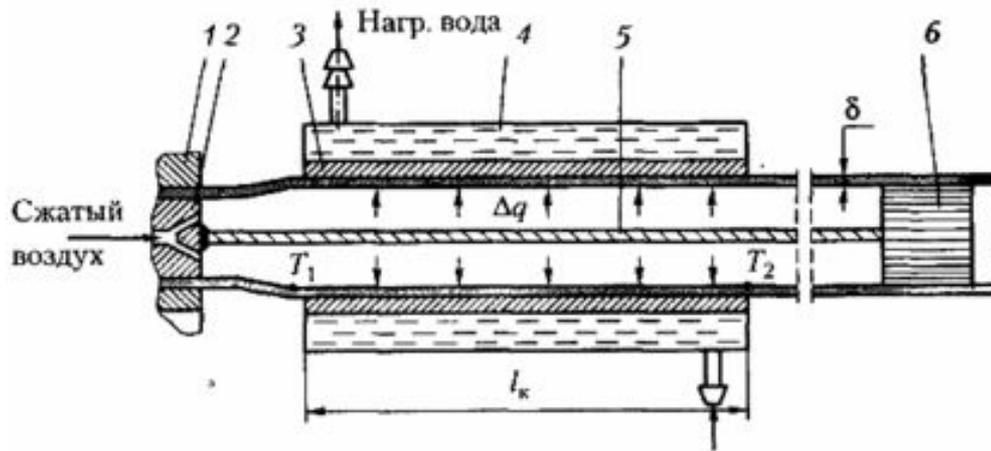


Схема калибрования трубы внутренним давлением Δq .

1 — головка; 2 — дорн; 3 — калибрующая втулка; 4 — корпус с охлаждающей водой; 5 — трос; 6 — пробка.

δ — толщина стенки трубы; L — длина охлаждающей зоны; T_1 и T_2 — температуры на входе в насадку и на внутренней поверхности трубы, l_k — длина калибратора

Раздувание сжатым воздухом позволяет создавать внутри трубы высокое давление. Этот способ калибрования используют при производстве труб диаметром более 100 мм и толщиной стенки более 5 мм.

Параметры калибрования труб

Давление воздуха

Избыточное давление калибрующего воздуха (МПа) – $(0,08...0,1)/(0,1...0,12)$.

Давление расплава в головке составляет 15- 30 МПа.

С учетом разбухания расплава площадь поперечного сечения трубы S должна быть на 10-15 % больше площади формующего зазора головки. После калибровки диаметр трубы, равный диаметру насадки ($D_{\text{нас}}$), увеличивается на 10...25 %; при этом толщина стенки уменьшается, т. е. $D_{\text{нас}} > D_{\text{м}}$ мундштука или наружного диаметра кольцевого зазора формующей части головки.

Длина калибратора

Длина охлаждающей части насадки L_k имеет очень важное значение для всего процесса по нескольким причинам:

- следует избегать быстрого охлаждения трубы-экструдата, чтобы свести к минимуму неравномерность усадки и предупредить образование пустот и дефектов в стенке трубы, а также уменьшить уровень остаточных напряжений;
- длина насадки зависит от размеров, свойств полимера, температуры расплава на выходе из головки и скорости выхода экструдата;
- длина насадки должна быть достаточна для охлаждения трубы к моменту фиксации ее геометрических размеров и иметь достаточную формоустойчивость при попадании в охлаждающую ванну для последующего охлаждения;
- повышенная длина насадки ведет к увеличению силы трения между ее поверхностью и неподвижной поверхностью насадки, т. е. к увеличению усилия отвода трубы, а в крайнем случае - к необратимому деформированию трубы в насадке.

Калибрование вакуумом

При калибровании вакуумом необходимо обеспечить герметичность между экструдатом и гильзой (стенкой калибратора) на входе, поэтому диаметр формующего мундштука делают несколько больше, чем диаметр гильзы. Необходимые размеры труба приобретает в результате прижатия экструдата к стенкам гильзы под действием разности давления атмосферного воздуха и вакуума. Поскольку невозможно создать большую разность давлений (ΔP не превышает 0,05 МПа), этот метод неприменим при калибровании толстостенных труб. В зависимости от размера трубы для калибрования могут использоваться до 6 вакуумнасосов.

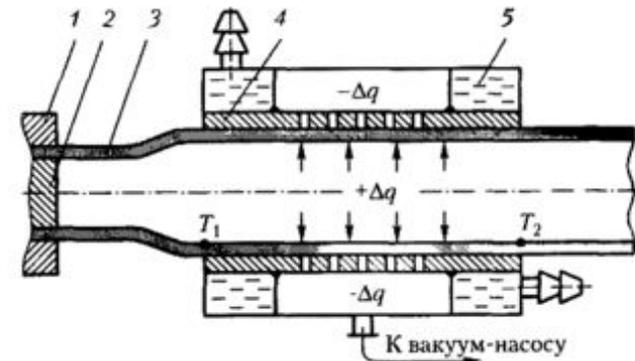


Схема вакуумкалибровки трубы:

1 — головка; 2 — дорн; 3 — изделие;
4 — калибрующая втулка; 5 — полости охлаждения

Вакуумный калибратор

Калибрование по внутреннему диаметру трубы

Для калибровки трубы по внутреннему диаметру применяют перфорированную насадку, охлаждаемую водой и соединенную с линией разреженного воздуха. Насадка, помещенная внутрь трубы, разделена на три зоны. В первую подается охлаждающая вода, во вторую подводится вакуум, где и происходит калибровка. В этой зоне калибровочная насадка перфорирована. В третьей зоне происходит охлаждение калиброванной трубы. Передняя часть насадки расточена на конус. Насадка находится внутри трубной заготовки, которая обтекает ее, надеваясь как чулок. Внутренней калибровкой можно получать трубы квадратного, треугольного, овального и других сечений.

При другом способе калибрования по внутреннему диаметру калибратор крепится непосредственно к дорну головки. По трубке, проходящей через дорн, в него подается охлаждающая вода. Труба, протягиваемая по калибратору, охлаждается и разглаживается. Используя этот метод, можно получать изделия с толщиной стенки до 0,2 мм.

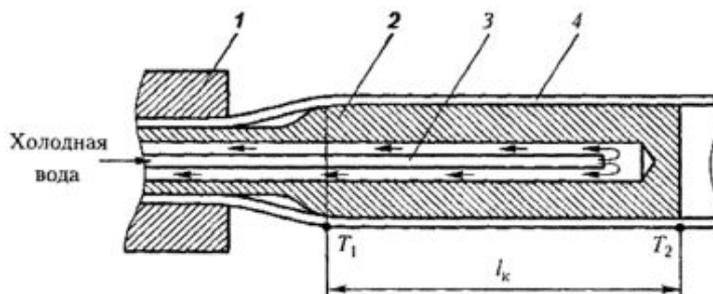


Схема калибровки по внутреннему диаметру трубы:

1 — головка; 2 — калибратор; 3 — трубка для холодной воды; 4 — изделие.

Характеристика линии для производства труб из ПВХ

Тип агрегата	Шнек				Формующая головка			Калибрующий инструмент			Охлаждающие ванны		Тянущее устройство		Отрезное устройство		
	Диаметр D , мм	Соотношение D/L	Степень сжатия	Частота вращения, мин ⁻¹	Диаметр дорна, мм	Диаметр мундштука, мм	Длина формующего зазора, мм	Способ	Диаметр насадки, мм	Длина насадки, мм	Число ванн	Длина ванны, м	Тип	Скорость отвода, м/мин	Диаметр	Толщина	Частота вращения, мин ⁻¹
АТ 110/315	152	1/20	3	71	88,5	102	140	Сжатый воздухом	113,6	370	2	7	Гусенично-роликковый	0,14 – 0,15	820	6,6	1420

Производительность оборудования для производства труб из ППД

Диаметры труб, мм	Производительность, кг/ч			
	ЛТ63×25- 25/63	ЛТ90×25- 75/160	ЛТ125×25- 140/400	ЛТ160×25- 400/800
32 – 50	70	-	-	-
63 – 90	90	115	-	-
110 – 160	-	140	250	-
180 – 400	-	-	280	385
450 – 630	-	-	-	400
Производительность по паспортным данным	До 150	До 300	До 350	До 500

Соответствие трубной продукции из ПНД нормативной документации

Вся трубная продукция должна соответствовать ГОСТ 18599-2001 (водоснабжение), ГОСТ Р 50838–2009 (газоснабжение). Трубы производятся из гранул полиэтилена ПНД ведущих Российских производителей сырья, таких как ПАО "Казаньоргсинтез", ОАО "Салаватнефтеоргсинтез", ООО "Ставролен" и ОАО "Нижнекамскнефтехим".

Трубы из данных марок полиэтилена могут быть использованы для прокладки наружных (*подземных*) коммуникаций с максимальным давлением до 25 атмосфер (2.5 МПа) для трубопроводов питьевого и технического водоснабжения, с давлением до 12 атмосфер (1.2 МПа) для трубопроводов транспортирующих газ, а также могут быть использованы в безнапорных (самотечных) системах ливневой канализации, системах дренажа и защиты различных кабелей прокладываемых в земле (техническая труба).

Что такое SDR

SDR - это отношение диаметра трубы к ее толщине стенки. Чем выше значение SDR трубы, тем меньше ее толщина стенки и наоборот, чем ниже показатель SDR, тем толще стенка трубы.

Взяв наружный диаметр трубы и толщину ее стенки можно легко узнать значение SDR трубы:

Наружный диаметр трубы /разделить на/ Толщину стенки =получится Значение SDR

Зная значение SDR можно узнать толщину стенки трубы:

Наружный диаметр трубы /разделить на/ Значение SDR =получится Толщина стенки

Данная маркировка прописана ГОСТ-ом и используется при производстве труб из полиэтилена ПНД марки ПЭ100 и ПЭ80. Соответствующая маркировка наносится на трубы при их производстве.

Трубы из ПЭ 80 и ПЭ 100

Различие между полиэтиленами ПЭ100 и ПЭ80

Если не переходить к урокам химии, то самым основным отличием между полиэтилена ПЭ100 и ПЭ80 является прочность. Для наглядности рассмотрим пример ниже.

Возьмем две одинаковые трубы для питьевой воды из разных марок полиэтилена:

Диаметр - 160 мм, толщина стенки - 14.6 мм, вес в 1 метре трубы - 6,67 кг.

Трубы совершенно одинаковые по своим физическим качествам — одного диаметра, с одинаковой толщиной стенки и равным весом.

Единственным отличием данных труб будет максимальное давление, которое смогут выдержать трубы.

С данными техническими характеристиками, труба 160 диаметра из полиэтилена ПЭ100 способна постоянно выдерживать давление в 16 атмосфер (1.6 МПа), а труба из марки ПЭ80 только 12.5 атмосфер (1.25 МПа).

Единственным существенным отличием, между марками полиэтилена ПЭ100 и ПЭ80, является плотность самого полиэтилена.

Виды брака

Виды брака при производстве труб.

Шероховатая наружная или внутренняя поверхность труб получается:

- при наличии в материале повышенного содержания влаги;
- при загрязнении поверхности формующей части головки;
- в случае низкой температуры расплава.

Несоответствие геометрических размеров изделия чертежам на него может происходить из-за неполадок в оборудовании:

- разнотолщинность – из-за неотрегулированного формующего зазора щели;
- овальность – из-за смещения дорна относительно оси симметрии дорн- мундштук или из-за овальности калибрующей насадки, и т. п.

Продольные трещины, как непосредственно видимые после изготовления, так и возникающие при специальных контрольных испытаниях труб, образуются из-за плохой свариваемости потоков расплава полимера при его рассечении дорнодержателем. Свариваемость улучшается, если увеличить взаимодиффузию сегментов поверхности отдельных потоков расплава. Последнее достигается увеличением температуры расплава, а также повышением давления.

Концентрические складки, кольца по длине трубы образуются:

- из-за большой пульсации расплава полимера при экструзии;
- из-за неравномерного по времени охлаждения;
- из-за неравномерной скорости отвода трубы тянущим устройством.

Низкий уровень механических свойств, долговечности при эксплуатации обусловлен наличием высоких остаточных напряжений. Необходимо изменить температуру, скорость выхода экструдата и температурно-временные условия предварительного охлаждения трубной заготовки так, чтобы произошла максимальная релаксация напряжений.

Повышенная усадка при тепловых испытаниях изделий связана с большим уровнем ориентации цепей полимера либо в осевом, либо в радиальном направлении. Это негативное явление устраняется за счет уменьшения степени радиальной и осевой вытяжки труб на стадии калибрования, а также наиболее полной релаксации напряжений.

Литература

1. М.Л.Фридман. Технология переработки кристаллических полиолефинов, М., Химия, 1977
2. В.П.Володин. Экструзия профильных изделий из термопластов. С-П., Профессия, 2005
3. Переработка пластмасс. Справочное пособие под ред. В.А.Брагинского, Л., Химия, 1985
4. Г.И.Шапиро, С.В.Еклаков, В.В.Абрамов. Пластмассовые трубопроводы. М., Химия, 1986
5. Завгородний В. К., Калинин Э. Л., Махаринский Е. Г. Оборудование предприятий по переработке пластмасс. – Л.: Химия, 1972.
6. З.А. Кудрявцева, Е.В. Ермолаева. Проектирование производств по переработке пластмасс методом экструзии. Учебное пособие к выполнению курсового и дипломного проектов, Владимир, 2003