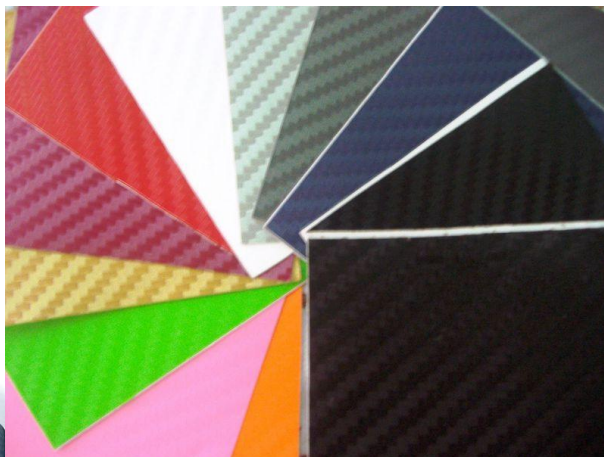


Каландрование

Виды пленок и листов, получаемых методом каландрования, технологические схемы, требования к материалу, основные технологические режимы, параметры влияния, виды брака



Что такое каландрование

Каландрование - это процесс непрерывного формования полимерного материала при пропускании его расплава через зазор между вращающимися валками каландра. При каландровании расплав полимерного материала проходит через каждый зазор только один раз. При этом происходит увеличение ширины ленты материала при одновременном ее утонении. В результате каландрования получают полотно заданной толщины и ширины.

Преимущество переработки полимерных материалов каландрованием заключается в сочетании высокого качества изделий с высокой производительностью процесса. Например, для тонких пленок скорость приемки на намоточный агрегат достигает 100 м/мин и более. Конструкция каландров позволяет быстро переналаживать оборудование при изменении ширины и толщины материала.

При переработке полимерного материала на каландре, в отличие от экструдера, *свободно улетучиваются газообразные продукты разложения, процесс протекает при относительно низких температурах, время нахождения материала в зазоре между валками достаточно мало.* Это дает возможность перерабатывать полимерные материалы, склонные к термо- и механодеструкции.

Перерабатываемые материалы

Каландрованием перерабатывают в основном поливинилхлорид (ПВХ) жесткий и пластифицированный, сополимеры винилхлорида и винилацетата, а также полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), эфиры целлюлозы, полиэтилентерефталат (ПЭТФ), поликарбонат (ПК). Пленки и листы из полиолефинов получают методом каландрования в основном для точной калибровки листов и придания им глянцевой поверхности.

Этот процесс широко используется для получения однослойных, многослойных, дублированных на различные подложки рулонных материалов. Пленки из ПВХ выпускаются толщиной от 0,04 до 1,0 мм по ГОСТ 16398-81 **Пленка виниловая каландрированная** и ГОСТ 25250-88 **Пленка поливинилхлоридная для изготовления тары под пищевые продукты и лекарственные средства**.

Каландрованием композиций на основе пластиката ПВХ с минеральным наполнителем получают бесосновный линолеум.

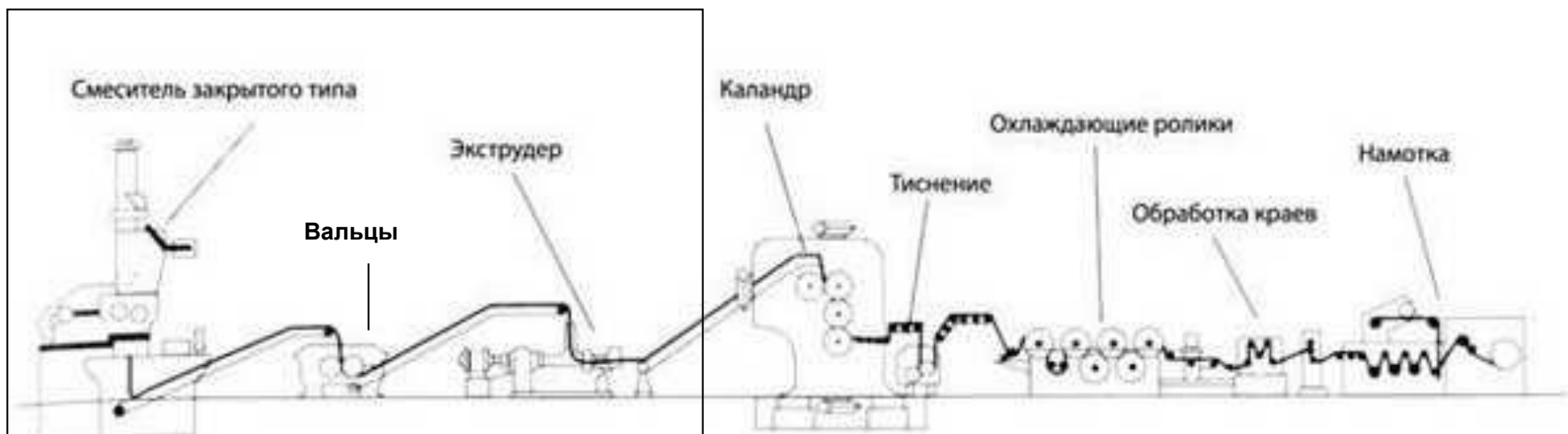
В резиновой промышленности каландрованием получают листовые материалы из резины.

Скорость процесса может достигать 250 м/мин, а минимальная толщина пленки составлять 10 мкм, ширина рулонных изделий, полученных каландрованием, обычно не превышает 2500 мм.

Краткая характеристика основных процессов переработки пластмасс на валковых машинах

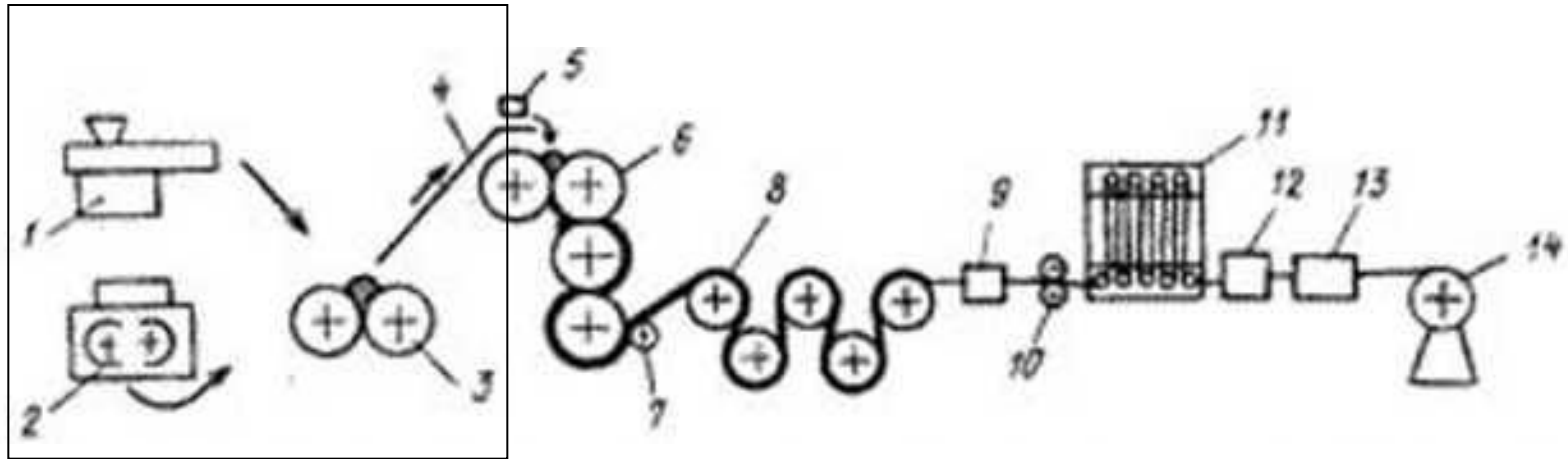
Назначение и сущность процесса	Технологическая операция	Схема
Вальцевание		
<p>Дополнительное смешение полимера с ингредиентами и доведение материала до пластицированного равномерно нагретого состояния.</p> <p>Обработка материала путем его многократного пропускания через зазор двух полых вращающихся навстречу друг другу обогреваемых (охлаждаемых) валков</p>	<p>Смешение отдельных ингредиентов с полимером или гомогенизация готовой композиции для получения однородной массы; перевод материала в состояние, облегчающее дальнейшую переработку, изготовление полуфабрикатов (листы, пленки); синтез блок- или привитых сополимеров при совместном вальцевании двух или более полимеров; пропитка наполнителей расплавом синтетических смол под давлением при получении термореактивных пресс-материалов</p>	<p>1,3 - валки; 2 - перерабатываемый материал</p> 
Каландрование		
<p>Формирование листа или пленки заданной ширины и толщины</p>	<p>Получение тонких листов и пленок жесткого и пластифицированного ПВХ, полиэтилена, ацетатов целлюлозы, ударопрочного полистирола</p>	<p>1 - валки; 2 - перерабатываемый материал</p> 
<p>Последовательный однократный пропуск материала через один, два или несколько зазоров каландра</p>	<p>Получение различного типа линолеумов из высоконаполненных композиций на основе ПВХ</p>	
Каширование		
<p>Нанесение тонкой пленки термопласта на бумажную или тканевую основу. Расплавление полимера на валках и" последующее нанесение армирующей основы с помощью прижимного валка</p>	<p>Получение армированных материалов</p>	<p>1 - бункер; 2 - плавильные валки; 3 - прижимной обрешиненный валок; 4 - гранулированный термопласт; 5 — армирующая основа; 6 — готовое изделие</p> 

Общая технологическая схема процесса каландрования



При каландровании расплав полимера превращается в пленку или лист, проходя между вращающимися валками высокой точности. Каландры также используются для создания необходимой текстуры.

Схема каландровой линии для производства пленок из пластифицированного ПВХ **вальцево-каландровым методом**



1- смеситель непрерывного действия; 2 – смеситель периодического действия; 3 - вальцы; 4 - транспортер; 5 –детектор металла; 6 - каландр; 7- приемный валок; 8— охлаждающее устройство барабанного типа; 9-устройство о непрерывного контроля толщины; 10 - устройство обрезки кромок; 11- многопетлевой компенсатор; 12 - счетчик метража; 13 – устройство поперечной резки пленки; 14 - намоточный агрегат

Получение пленки из пластифицированного ПВХ экструзионного – каландровым методом

Предварительное смешение компонентов композиции осуществляется в червячном смесителе 1. Полученная масса поступает на вальцы 2, которые служат для дальнейшей гомогенизации композиции, а также являются промежуточным накопителем материала, расходуемого в течение времени цикла смешения. Материал в виде «куклы» с вальцев 2 поступает в экструдер-пластикатор 3, в котором пластифицируется, разогревается и выдавливается через плоско-щелевую головку в виде плоской ленты. Разогретая масса подхватывается транспортером и подается на загрузку четырехвалкового Г – образного каландра 4. Температура валков поддерживается 140-150 °С, причем наибольшую температуру имеет 4-й валок, 1-й и 2-й – наиболее «холодные», а температура третьего занимает промежуточное положение. Готовая пленка принимается приемными роликами 5, откуда через систему натяжных валков поступает в охлаждающее устройство из 4 валков большого диаметра 6, температура которых последовательно уменьшается. Охлажденная пленка проходит через устройство для контроля толщины, и после обрезки кромок попадает в узел намотки 7.

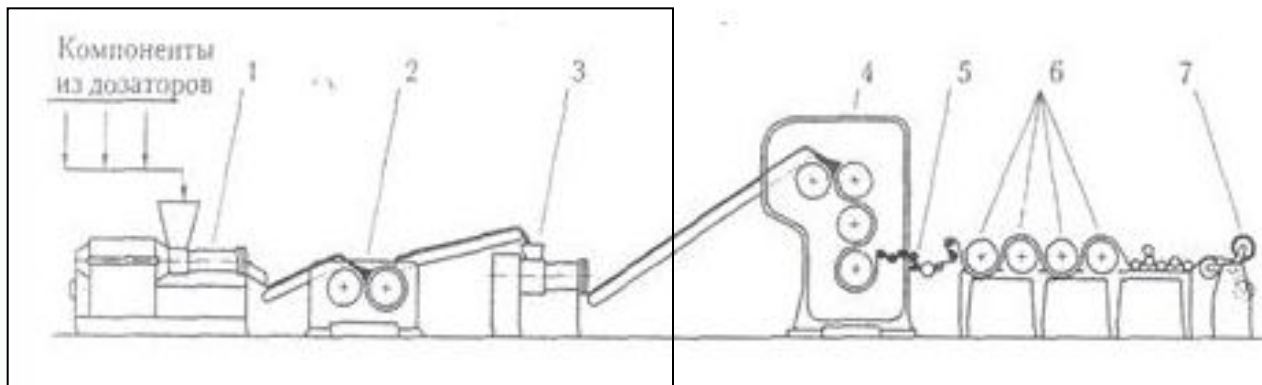


Схема производства пленки из пластифицированного ПВХ экструзионно-каландровым методом
1-червячный смеситель, 2-вальцы, 3 – экструдер-пластикатор 4- каландр, 5-приемные ролики,
6-охлаждающие валки, 7-узел намотки

Схема получения бесосновного ПВХ линолеума

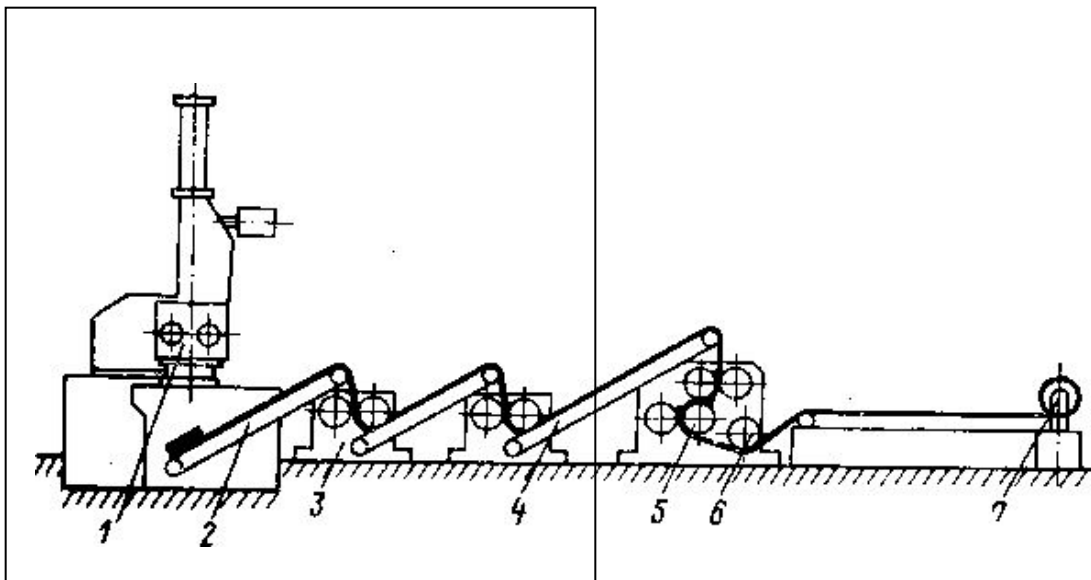


Схема производства бесосновного Линолеума из ПВХ:

- 1 - смеситель роторного типа;
- 2 - транспортер; 3- вальцы;
- 4 - качающийся транспортер;
- 5 - каландр;
- 6 - охлаждающее устройство;
- 7 - резательное и намоточное устройство

Производительность линии 10—15 м/мин, ширина листа 1500 мм.

Приготовление композиционной массы осуществляется в смесителе, куда при работающей мешалке последовательно загружают жидкие добавки (дибутилфталат, трансформаторное масло), краситель, стеарат кальция, поливинилхлорид, стабилизатор и наполнитель. Смесь перемешивают в течение 2 ч при температуре 80° С, после чего выдерживают для набухания и созревания в емкостях при нормальной температуре в течение 24 ч. Подготовленную массу далее обрабатывают на смесительных вальцах при температуре 130-165°С до получения пленки с гладкой поверхностью. Затем материал срезают с вращающегося вала и направляют на обогреваемые паром каландры. Каландрирование производят при температуре 150-165° С. При этом происходит формирование непрерывной ленты линолеума необходимой толщины и ширины, уплотнение массы и удаление из нее воздуха. С каландров лента поступает на охлаждающие барабаны, а оттуда на разбраковочный стол для обрезки кромок и разрезки полотна на куски определенной длины, сортировку и упаковку.

Примерный состав линолеумной массы однослойного бесосновного линолеума (в % по массе): поливинилхлорид - 30-40, наполнитель - 50-60, пластификатор (дибутилфталат) - 10-15, технологические добавки - 1-2 и краситель - 1-2.

Подготовка композиций для каландрования

Обработке материала на каландре предшествуют получение композиции полимера и пластикация. Поэтому свойства пленок, полученных каландровым способом, зависят в основном от трех факторов:

- свойств исходного материала и состава композиции;
- условий смешения и пластикации;
- условий каландрования.

Формование на каландре протекает в *переходной области между высокоэластическим состоянием и вязким течением* полимера, поэтому термопластичный материал должен обладать широким температурным интервалом текучести и достаточной вязкостью расплава, чтобы обеспечить получение однородной, гладкой и равнотолщинной пленки и беспрепятственное снятие ее без разрушения и растягивания с валков каландра. Композиции поливинилхлорида или его сополимеров, а также сырые резиновые смеси удовлетворяют этим требованиям. Содержание отдельных компонентов в композиции ПВХ колеблется в широких пределах в зависимости от назначения пленки и свойств самих компонентов.

В составе композиции ПВХ содержится до 20 различных добавок.

Поэтому требуется предварительная подготовка сырья перед процессом каландрования в пленку или лист.

Дополнительные рецептуры каландровых пленок

Примерная рецептура для мебельной пленки

- 100 масс. ч. ПВХ [$K=57-60$];
- 0,2-0,5 масс. ч. МБС /АБС/ХПЭ;
- 1,0—2,5 масс. ч. ПММА;
- 1,0—4,0 масс. ч. эпоксицированное соевое масло;
- 2,5—3,5 масс. ч. барий—цинк стабилизатор или
- 2,5—3,5 масс. ч. кальций—цинк стабилизатор или
- 1,0— 1,5 масс. ч. стабилизатор меркаптида октилолова;
- 0,5—0,8 масс. ч. олеат глицерина;
- 0—1,0 масс. ч. эфирный воск на фталатной основе;
- 0,2—0,4 масс. ч. смазка на основе сложного эфира.

Примерные рецептуры для каландрированных изделий общего назначения

- 100 масс. ч. ПВХ [$K=65-70$];
- 40-60 масс. ч. фталатный пластификатор;
- 0-30 масс. ч. мел с поверхностной обработкой;
- 2-5 масс. ч. эпоксицированное соевое масло;
- 0-0,6 масс. ч. УФ абсорбера;
- 0,2-0,4 масс. ч. смазка на основе сложного эфира;
- 1,5-2,5 масс. ч. барий—цинк стабилизатор или
- 2,0-3,0 масс. ч. кальций—цинк стабилизатор или
- 1,0-1,5 стабилизатор меркаптит октилолова.

Примерная рецептура для прозрачных упаковочных пленок

- 100 масс. ч. ПВХ [$K=57-60$];
- 0—15 масс. ч. МБС;
- 1,0—2,0 масс. ч. ПММА;
- 2,0—5,0 масс. ч. барий—цинк стабилизатор или
- 2,0—3,0 масс. ч. кальций—цинк стабилизатор
- 1,0—1,5 масс. ч. стабилизатор меркаптида октилолова;
- 0,5—0,8 масс. ч. неполный олеат глицерина;
- 0,1—0,4 масс. ч. смазка на основе сложного эфира.

Примерные рецептуры современных каландрированных пленок

Примерные рецептуры для каландрированных жестких пленок

- 100 масс. ч. ПВХ [K = 57-60];
- 0,5-1 масс.ч. модификатор текучести (акрилат)
- 4-10 масс.ч. модификатор ударостойкости (МБС)
- 1-4 масс.ч. эпоксидированное соевое масло
- 0,2-0,6 масс.ч. внешней смазки
- X-y масс.ч. пигменты
- 2-4 масс.ч. однопакетный стабилизатор—смазка на основе кальций-цинк
- 1-2 масс.ч. стабилизатор меркаптида олова
- 0,5-1,0 масс.ч. сложный эфир олеата глицерина
- 0,1-4,0 масс.ч. стеарат кальция.

Примерные рецептуры для каландрированных автомобильных изделий (с низким запотеванием)

- 100 масс. ч. ПВХ [K = 65-70];
- 40-60 масс. ч. длинноцепной фталатный пластификатор;
- 0-20 масс. ч. мел с поверхностной обработкой;
- 0-0,6 масс. ч. УФ абсорбер;
- 2,5-3,0 масс. ч. барий—цинк стабилизатор или
- 3,0—3,5 масс. ч. кальций—цинк стабилизатор.

Предварительная подготовка композиции ПВХ

На первом этапе в начале линии каландрования ПВХ предусмотрено изготовление сухой смеси ПВХ с соответствующими добавками, в том числе пластификатора.

Затем, поступающая из смесителя пластифицированная порошковая смесь за счет пластикации превращается в однородный расплав. Для этого используются как машины периодического действия, так и машины, работающие в непрерывном режиме.

К машинам, работающим в периодическом режиме, относятся пластосмесители и смесительные вальцы.

Предварительную пластикацию целесообразно осуществлять в непрерывном режиме, поскольку это гарантирует подачу на каландр однородного материала с постоянной текучестью расплава и определенной температурой.

В качестве пластицирующих машин, работающих в непрерывном режиме, используются исключительно шнековые агрегаты, причем особое внимание уделяется гомогенизации полимерной массы. Это достигается за счет использования в конструкции шнека смесительных элементов, размещенных в зоне дозирования.

Смешение компонентов композиции ПВХ

Введение различных добавок в поливинилхлорид (ПВХ) необходимо из-за характера самого полимера и особенностей его переработки.

Поливинилхлорид является аморфным полимером со значительными силами межмолекулярного взаимодействия благодаря полярности заместителя, температура стеклования около 85°C , а температура текучести промышленных марок ПВХ близка к температуре разложения. Для предотвращения процесса термодеструкции ПВХ, идущего с выделением газообразного HCl , вводят стабилизаторы, а для снижения температуры стеклования (придания гибкости и эластичности, улучшения морозостойкости) и температуры текучести (облегчение переработки) — пластификаторы. Пигменты и наполнители создают определенный декоративный эффект, а также служат модификаторами пленок. Смазки препятствуют прилипанию материала к горячим поверхностям валков. Однородность формуемого материала достигается равномерным распределением всех компонентов в объеме композиции, что зависит от качества смешения. На первой стадии процесса подготовленные компоненты подвергают «сухому» смешению, исключаящему гелеобразование (желирование), в смесителях различного типа (лопастных, турбоскоростных, турбошнековых и др.).

Получение композиции ПВХ сухим смешением КОМПОНЕНТОВ

Высокое качество смешения обеспечивает двухстадийный турбоскоростной смеситель, в котором сокращение цикла работы достигается разделением стадий горячего смешения и охлаждения смеси. В верхней секции установки возникающие благодаря вращению мешалки и внешнему обогреву. В нижней охлаждаемой секции установки, куда горячая смесь поступает через пневмозатвор, ее охлаждают при интенсивном перемешивании, что способствует быстрой теплоотдаче материала. Параметры процесса (температура, скорость, продолжительность перемешивания) зависят от состава композиции.

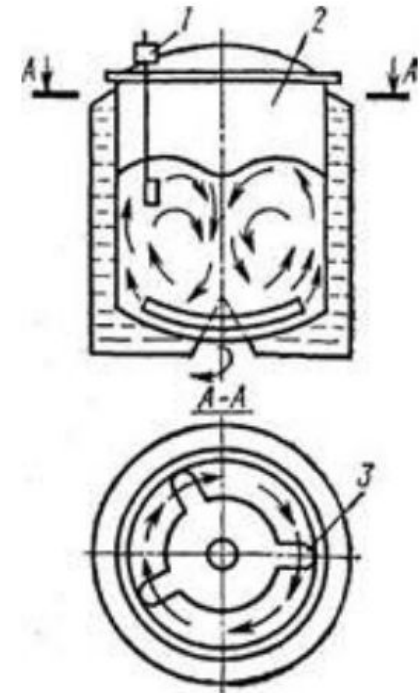


Схема двухстадийного смесителя

1- лопасть для регулирования вращательного движения смеси;
2-бак смесителя; 3- мешалка

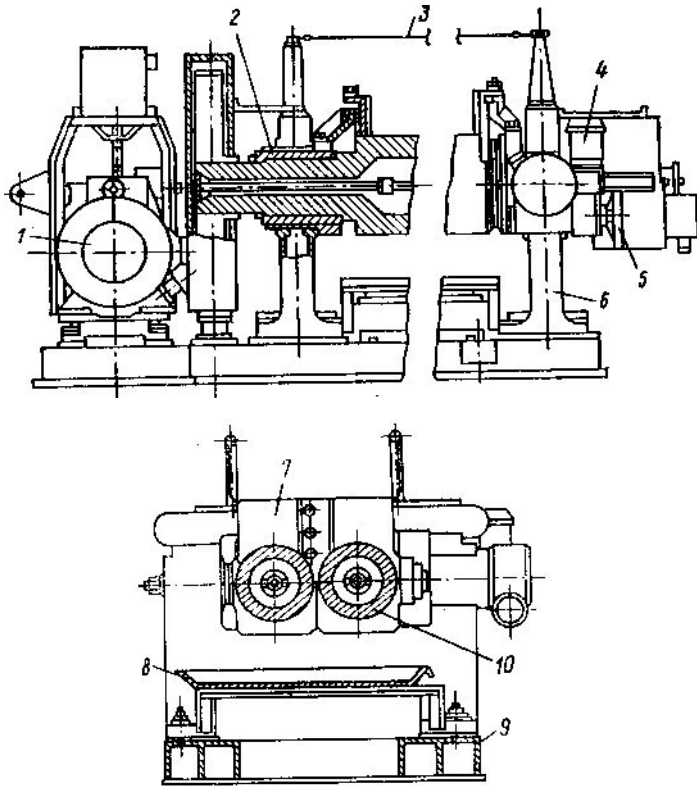
Смешение композиции на обогреваемых вальцах

После пластикации формовочная полимерная масса по транспортной ленте передается на смесительные вальцы, которые, кроме как для дальнейшей гомогенизации, используются еще и в *качестве накопителя (буфера)*, выравнивая производительность смесительного оборудования и каландра, а также для дегазации массы. В вальцы добавляют возвратные отходы пленки (кромки) без дополнительного измельчения.

Межвалковый зазор вальцев имеет клиновидную форму, в связи с тем загружаемые полимерный расплав перемещается с одного конца валков на другой вдоль по зазору. В конце зазора полоска материала снимается поворотными ножами и непрерывно подается на каландр. С этой целью используется поворотный ленточный транспортер, который равномерно подает ленту в первый зазор валков каландра. При вальцевании материал многократно пропускают через зазор между двумя валками, вращающимися навстречу друг другу с различной скоростью. Пластичный материал, переходящий на более нагретый валок, подрезают ножом и возвращают в зазор. Таким способом достигается изменение ориентации поверхностей раздела и лучшая гомогенизация материала.

Отношение окружных скоростей вращающихся валков — фрикция — должно обеспечивать получение гомогенного, плотного материала без воздушных включений. Величина фрикции зависит от состава композиции и температуры валков. Увеличение окружной скорости валков и фрикции, способствуя диспергированию компонентов и пластикации материала, при недостаточном прогреве может вызвать частичную деструкцию полимера вследствие значительных деформаций сдвига.

Подготовка композиции ПВХ на вальцах



Общий вид смесительно-подогревательных вальцов:
1-электродвигатель привода; 2- подшипники;
3- устройство для аварийного останова; 4- механизм регулирования зазора; 5 - маховик тонкой настройки зазора; 6 - станина; 7- ограничительная стрела;
8- поддон; 9 – фундаментная плита; 10 - валки.

Вальцы состоят из двух литых станин 6, установленных на фундаментной плите 9, и двух валков 10, вращающихся навстречу друг другу с различными окружными скоростями (фрикцией). Станины имеют окна, на горизонтальных полках которых установлено по два корпуса с подшипниками 2 для валков. Корпуса подшипников заднего валка неподвижны, а корпуса переднего могут перемещаться. Перемещение передней пары подшипников осуществляется при помощи двух механизмов регулирования зазора, позволяющих создавать рабочий зазор между валками. Для ограничения раздвижки валков установлены конечные выключатели, которые при аварийном состоянии выключают приводы электродвигателей 1. Перемещению вальцуемой массы за пределы рабочей поверхности валков препятствуют ограничительные стрелы 7. На плите под валками помещается поддон 8 для просыпающейся крошки. Вальцы выпускаются с индивидуальным, сдвоенным и групповым приводом.

Технологические параметры вальцевания композиций ПВХ

Режимы вальцевания композиций непластифицированного ПВХ

Основные параметры	Предварительное вальцевание		Окончательное вальцевание	
	эмульсионный ПВХ	суспензионный ПВХ	эмульсионный ПВХ	суспензионный ПВХ
Продолжительность, мин, при толщине пленок и листов до 0,5 мм	3—6	6—10	3—6	3—6
более 0,5 мм	5—10	8—15	5—12	5—12
Зазор между валками, мм	0,8—1,0	0,8—1,0	1,2-1,5	1,2—1,5
Температура валков, °С	160±5	170±5		

Режимы вальцевания композиций для производства линолеума

Параметры	Предварительное вальцевание композиций		Окончательное вальцевание композиций	
	на основе ПВХ-С74	на основе ПВХ-С63М	на основе ПВХ-С74	на основе ПВХ-С63М
Температура валков, °С				
переднего	140	150	120—125	125—130
заднего	115	120	115	120
Толщина срезаемой ленты, мм	1,4—1,7	1,4—1,7	2,0—2,4	2,0—2,4

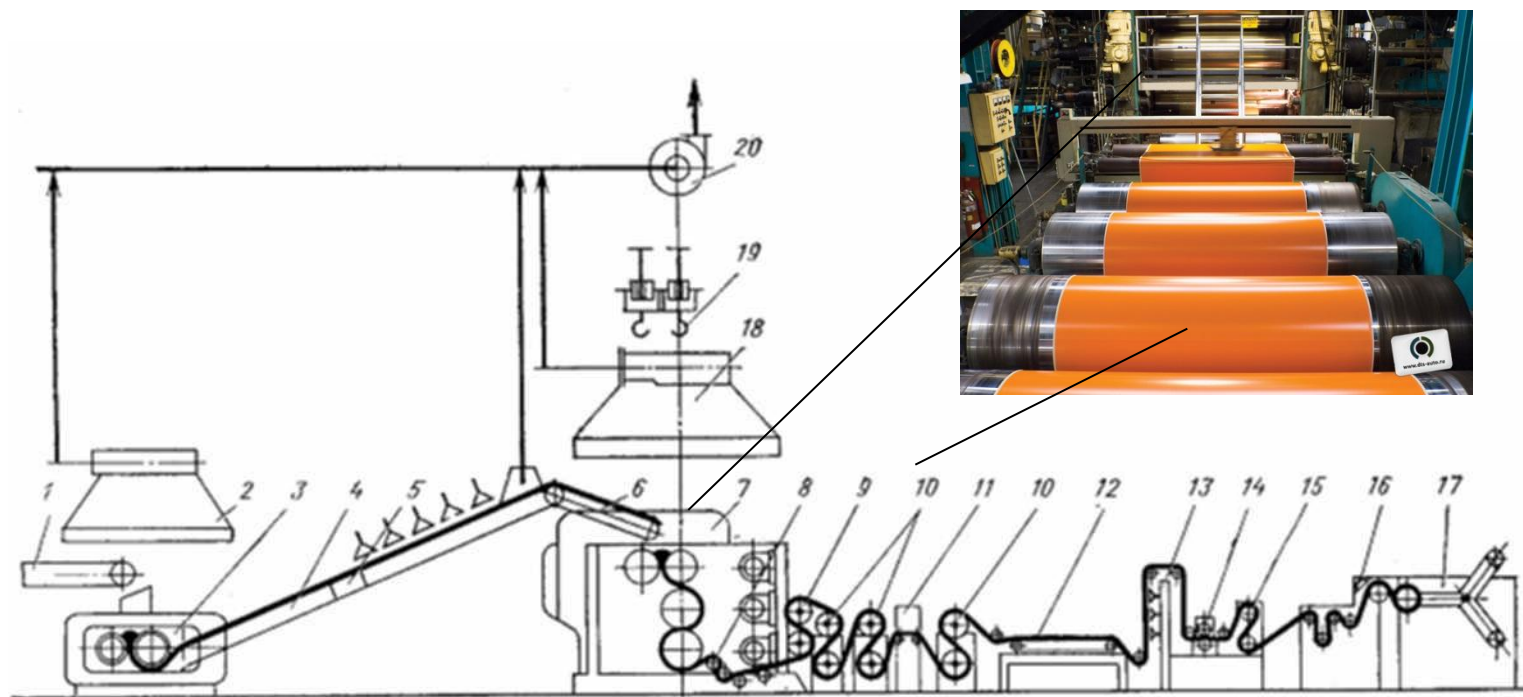
Смешение композиции на пластикационном экструдере

Для подготовки композиции, включая смешение, гомогенизацию и пластикацию, используют экструдеры различных конструкций, главным образом двухчервячные, что позволяет осуществить непрерывный процесс производства, в том числе и дозирование компонентов. К достоинствам непрерывного процесса смешения относятся:

- 1) равномерное питание каландра однородным материалом, что дает пленку стабильного качества;
- 2) улучшенное качество материала благодаря более мягким условиям переработки при меньшей продолжительности;
- 3) высокая степень использования оборудования вследствие быстрого прогрева материала в тонком слое за счет тепла внутреннего трения;
- 4) снижение затрат на электроэнергию и заработную плату;
- 5) уменьшение производственных площадей.

Однако преимущества непрерывного процесса могут быть реализованы лишь при длительном выпуске пленки одной рецептуры, а получение широкого ассортимента пленок различной рецептуры возможно лишь по более гибкой технологической схеме.

Технологическая схема процесса каландрования



Принципиальная технологическая схема производства пленок ПВХ методом каландрования:

1-транспортер для подачи пластицированной массы; 2 и 18 - зонты местного отсоса; 3-валцы; 4 - транспортер с подогревом массы; 5 - прибор для обнаружения металлических частиц; 6 - загрузочное устройство; 7 - каландр; 8 - тянущее устройство; 9 - тиснильное устройство; 10 - охлаждающее устройство; 11-прибор замера толщины пленки; 12 - устройство для обрезки краев пленки; 13 - устройство для просвечивания пленки(прозрачной), 14 - механизм для продольной резки. 15 - подающее устройство; 16 - устройство для снятия статического электричества; 17 - намоточное устройство; 18 - вытяжной короб, 19 - устройство для снятия валков каландра; 20 - вытяжной вентилятор.

Описание технологической схемы

Из отделения подготовки композиции на основе ПВХ пластицированный материал в виде прутка или полосы транспортером 1 передается к вальцам 3. Транспортер должен быть закрыт и оснащен вытяжной системой вентиляции.

На вальцах производится дальнейшая переработка и гомогенизация композиции ПВХ. Валки обогреваются паром давлением 13 атм. Для обеспечения постоянства температуры к валкам подводится охлаждающая вода.

Провальцованный материал непрерывно срезается с выходного вала в виде полосы шириной до 160 мм и подается на транспортер 4. При вальцевании происходит выделение пластификаторов, а также частичное выделение мономера. Для локализации выделяющихся вредностей над вальцами устанавливается зонт 2 вытяжной вентиляции.

Материал транспортером 4, на котором монтируется прибор поиска металлических частиц 5, передается к загрузочному устройству 6 каландра. Загрузочным устройством производится равномерное распределение пластицированной массы в виде ленты по ширине валков каландра 7. Пластицированная масса попадает в пространство между валками I и II. Она захватывается и продавливается между валками. Далее материал провальцовывается между валками II и III и калибруется в зазоре между валками III и IV.

Для обеспечения постоянного зазора между валками III и IV в конструкции каландра предусматриваются различные системы, обеспечивающие выпуск пленки с требуемой точностью ее размеров по толщине.

С последнего валка каландра пленка поступает в оттягивающее устройство 8, которое обеспечивает сьем и вытяжку пленки. Расстояние первого валка оттягивающего устройства от валка IV каландра регулируется. При необходимости получения на пленке тисненого рисунка пленка пропускается через тиснильное устройство 9, представляющее собой набор валков и контрвалков. Ввод пленки в тиснильное устройство может быть горизонтальным или вертикальным. Для фиксации размеров пленка охлаждается на барабанах охлаждающего устройства 10. Толщина пленки измеряется с помощью прибора 11, движущегося возвратно-поступательно в поперечном направлении по всей ширине пленки. Неровные края пленки обрезаются при помощи устройства с роликовыми ножами и направляются для повторной переработки в вальцы или каландр.

Принцип получения пленки методом каландрования

Пластифицированная термопластичная масса с помощью непрерывной транспортной ленты подается к каландру, равномерно распределяется по длине первого межвалкового зазора каландра, затем передается на следующий валок и проходит через второй и третий межвалковые зазоры. *Толщину листа или пленки регулируют за счет последнего межвалкового зазора.* Контрольно-измерительные приборы непрерывно фиксируют толщину и площадь поверхности ленты материала. Величина межвалкового зазора устанавливается автоматически или вручную. Для предотвращения стекания полимерной массы с вала на обеих его сторонах закреплены ограничительные щеки. После прохождения зазора между валками масса переходит на валок, вращающийся с большей скоростью. Перед каждым зазором образуется наплыв материала. После достижения последнего зазора пленка снимается каландра. *Для обеспечения передачи пленочного полотна каждый следующий валок вращается с более высокой скоростью.* При отборе пленки (листа) после выхода из межвалкового зазора изменяется поперечное сечение термопластичного материала, что проявляется в разбухании вследствие вязкоупругих свойств расплавов термопластов. **При каландровании листов и пленок следует учитывать, что расплавы формуемой массы должны относительно хорошо сохранять заданную форму и быть эластичными.** Это необходимо для передаче ленты на следующие устройства каландровой линии не нарушалась ее сплошность.

Виды каландровых установок

Конструкция универсальных каландров позволяет выполнять большинство технологических операций, производимых в процессе каландрования. Существуют специализированные *листовальные, промазочные, обкладочные (дублировочные), гладильные и тиснильные каландры*.

Основными отличительными признаками каландра является число валков, их длина, диаметр и взаимное расположение. Каландры изготавливают двух-, трех-, четырех- и пятивалковыми. Треугольное, Z-, S- и W-образное расположение валков имеет преимущество, заключающееся в снижении взаимного влияния распорных усилий и соответствующих прогибов в соседних межвалковых зазорах. Валки производственных каландров могут достигать размеров 950—2800 мм (диаметр — длина).

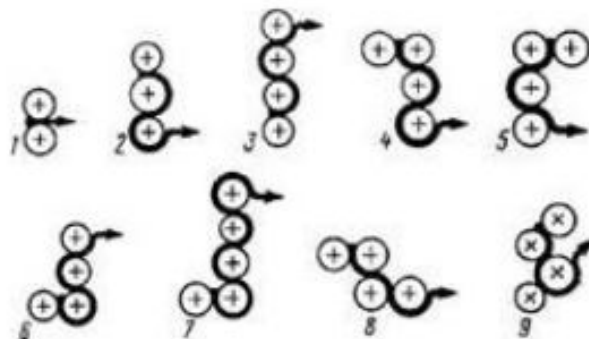
Чтобы обеспечить прохождение материала от загрузочного до калибрующего зазора, последовательно повышают температуру валков либо (при постоянной температуре) увеличивают скорость валков по ходу движения материала, создавая фрикцию в зазоре в пределах от 5 до 30% от скорости валков. Величину фрикции устанавливают опытным путем, исходя из свойств материала, скорости процесса и заданной толщины пенки. Для получения равнотолщинной пленки максимальной ширины очень важно соблюдение постоянной температуры по всей длине рабочей поверхности валков. Отношение скоростей вращения соседних валков, называемое **фрикцией**, при таком варианте конструкции привода может регулироваться в широких пределах — от 1 : 1 до 1 : 10. Величина фрикции определяется конкретной технологической операцией, выполняемой в данном межвалковом зазоре. Например, в случае промазки тканей для интенсификации процесса затекания полимера в пространство между волокнами величину фрикции устанавливают в пределах 1:1,3—1:1,4.

Фрикция необходима для более равномерного прогрева и гомогенизации полимерного материала, подаваемого транспортером в питающий зазор.

Основные типы каландров и их применение

Основная операция — формование пленки — происходит на каландре. Каландры относятся к валковым машинам и различаются главным образом количеством и расположением валков.

Основные типы 2—5-валковых каландров, применяемых для производства пленочных материалов:



1 — **двухвалковый каландр** с вертикальным расположением валков для изготовления толстых пленок, для тиснения рисунка на поверхности;

2 — **трехвалковый каландр** с вертикальным расположением валков для изготовления поливинилхлоридных листовых и пленочных материалов для полов, толстых пленок на основе эластомеров и др.;

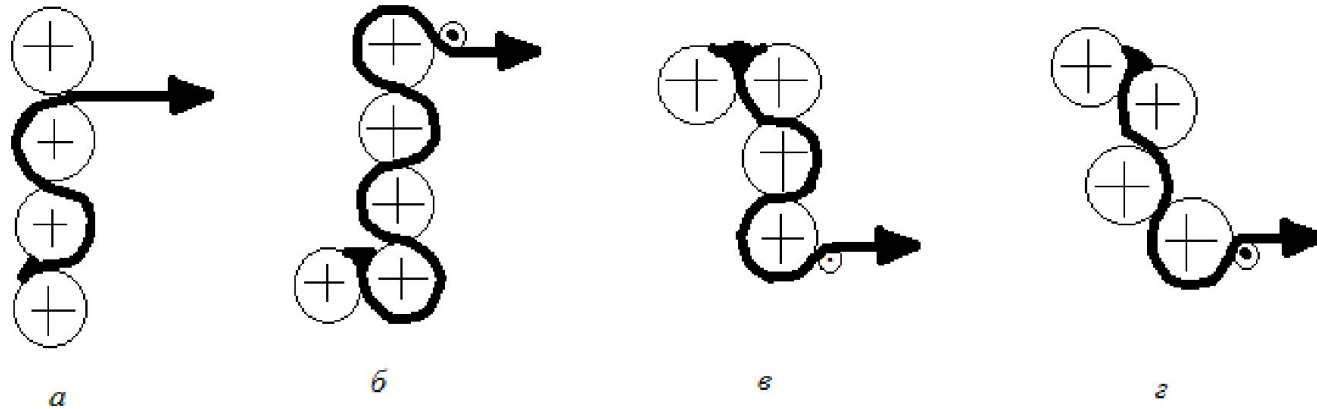
3 — **четырёхвалковый** каландр с вертикальным расположением валков для изготовления жестких (малопластифицированных) поливинилхлоридных пленок, листовой резины, одно- и двустороннее нанесения покрытий из этих материалов на тканевую основу;

4 и 5 — наиболее распространенные конструкции **четырёхвалковых** каландров с Г-образным расположением валков для производства мягких (пластифицированных) поливинилхлоридных пленок и дублирования; при дублировании устанавливается дополнительный консольный валок;

6 и 7 — **четырёх- и пятивалковый** каландры с L-образным расположением валков для изготовления жестких поливинилхлоридных пленок;

8 и 9 — **универсальные четырёхвалковые** каландры Z- и S-образного типа для производства поливинилхлоридных пленок, листовой резины, нанесения покрытий на различные основы.

Преимущества и недостатки разных схем расположения валков 4-валкового каландра



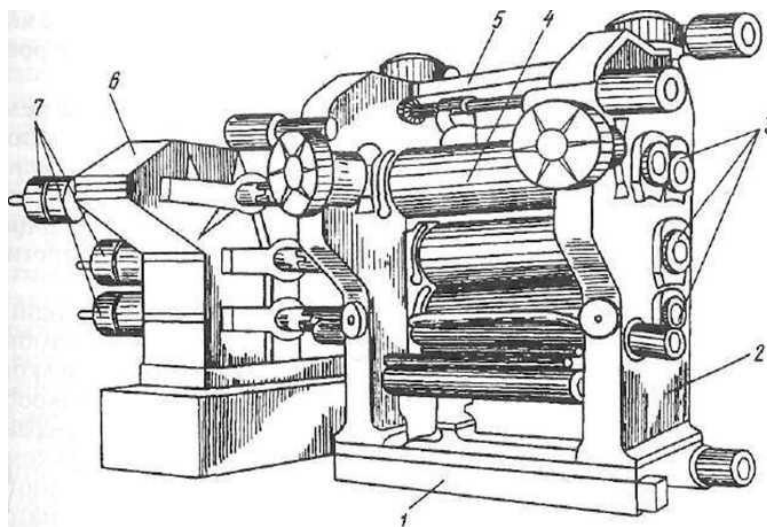
Преимущество L-образного каландра (б) состоит в том, что первый зазор для прохода полимерной массы расположен внизу — это обеспечивает наиболее быструю и удобную загрузку материала. Такой каландр в первую очередь используется для непластифицированного ПВХ. Недостатком L-каландра является то, что при изготовлении листов из пластифицированного ПВХ пары пластификаторов, поднимаясь вверх сорбируются изделием, ухудшая его качество.

Поэтому при переработки пластифицированного ПВХ используется каландр типа Г (в). Для совмещения с расплавом полимера полотна ткани или корда наиболее удобен каландр типа S (г).

I-образный (а) используется крайне редко.

Общепринятый диапазон толщины каландрованных листов составляет от 30 до 80 мкм. В производстве напольных покрытий используются специальные каландры, изготавливающие полотна большей толщины.

Схема четырехвалкового каландра для ПВХ



Г-образный четырехвалковый каландр
1 — фундаментная плита; 2 — станина;
3 — подшипники; 4 — валки; 5 —
поперечная траверса; 6 — редуктор;
7 — электродвигатели

На фундаментную плиту 1 опираются две станины 2, соединенные поперечной траверсой 5. В станине установлены подшипники 3 валков 4. Для вращения каждого из валков применяют индивидуальный привод, состоящий из электродвигателя 7 и редуктора 6. Конструкция привода обеспечивает независимое плавное регулируемое изменение скорости вращения валков с фрикцией до 1 : 10. Каландрование осуществляют при температурах, соответствующих нахождению полимерного материала в **высокэластичном состоянии**.

Равномерный прогрев валка поддерживает система термостатирования. Во внутреннюю полость валка подается теплоноситель. При температуре переработки до 200—220 °С в качестве теплоносителя применяют перегретую воду, пар или пароводяную смесь. Для достижения более высоких температур используют органические теплоносители или электрообогрев.

Регулирование толщины формирующего зазора производят с высокой точностью при помощи специального механизма синхронного перемещения подшипников валка, имеется механическая точная регулировка.

Эпюры скоростей и давлений в зазоре валков каландра

Максимальное давление перед минимальным зазором

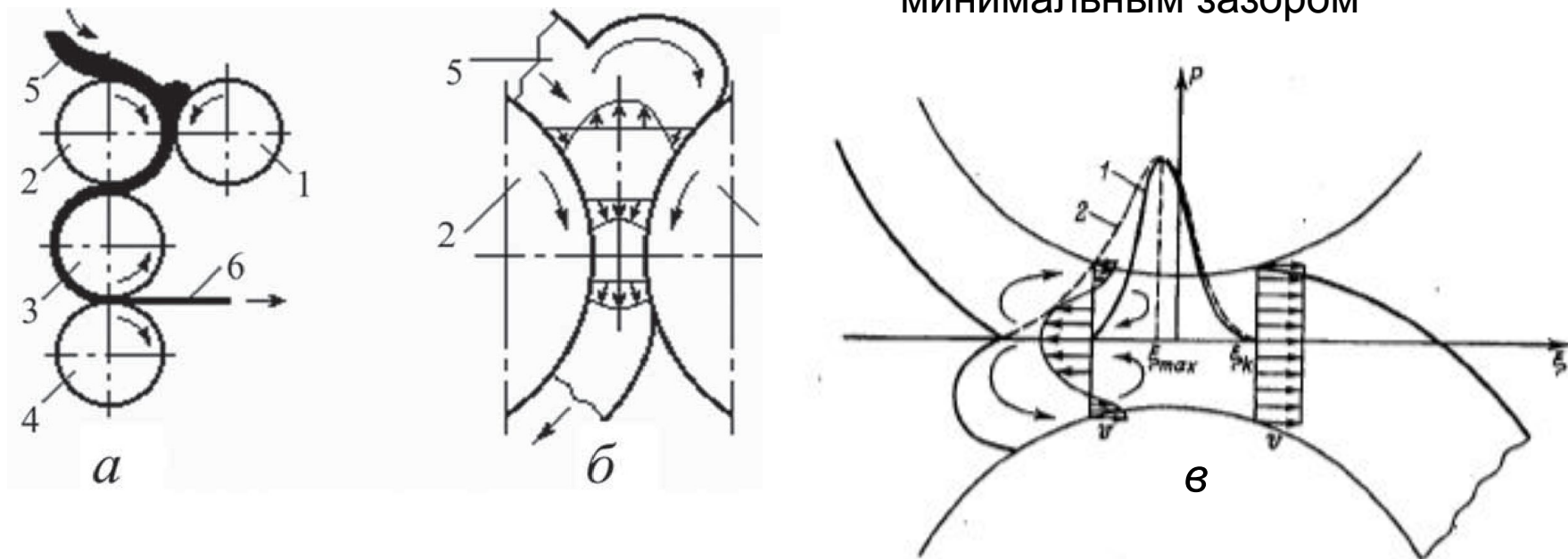
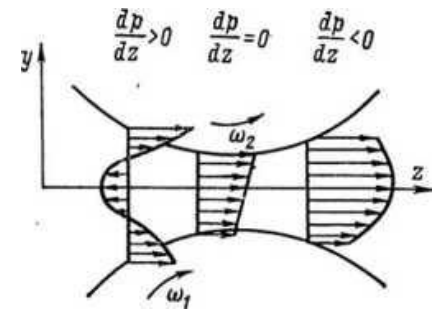


Схема работы каландра (а) и эпюры скоростей (б) потоков материала (5) и эпюра давления (в) на разных участках в зазоре первой пары вращающихся валков каландра.

1-4 — номера валков.

Процессы, происходящие в зазоре валков каландра

На входе в валки обычно имеется избыток материала, в котором за счет градиента давления возникает обратный поток, обеспечивающий циркуляцию массы и ее перемешивание. Благодаря наличию трения и градиента давления скорость движения расплава по глубине зазора изменяется. Перед входом массы в узкую часть межвалкового зазора градиент давления изменяет знак, поэтому скорость, обусловленная перепадом давления, суммируется со скоростью поступательного движения расплава и эпюра скоростей изменяется. Такое сравнительно большое изменение скорости по глубине канала вызывает развитие высоких напряжений и скоростей сдвига. Значительное напряжение сдвига обуславливает сильную ориентацию макромолекул и вызывает анизотропию прочности и усадки пленки в продольном и поперечном направлениях. За счет быстрого последующего охлаждения пленки дезориентация макромолекул исключается, поэтому при последующем хранении пленки в рулонах происходит изменение ее размеров и образование складок и гофров. Ориентацию можно снизить повышением температуры расплава или применением последующей термообработки пленки.



Изменение скорости v_2 по глубине межвалкового зазора при различных градиентах давления.

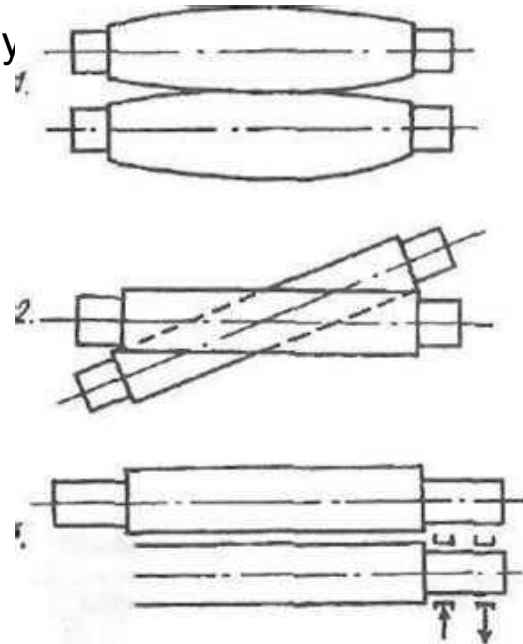
Компенсация распорного усилия в валках каландра

Высокое давление (7—70 МПа), развивающееся в зазоре между валками каландра, вызывает значительные распорные усилия, достигающие 100 Т (1 МН). Под действием распорных усилий валки каландра прогибаются. Следствием этого является неравномерная толщина полотна полимерного материала по ширине. Наиболее толстым полотном оказывается в середине, где прогиб валка достигает максимального значения.

Для компенсации прогиба применяют следующие методы:

- шлифовка валков в нагретом состоянии;
- установка цапф валков в точно подобранных по допу
- бомбировка валков,
- перекрещивание валков;
- контризгиб валков.

Сочетание бомбировки и перекрещивания валков является в настоящее время основным способом компенсации прогиба.



Схемы методов компенсации прогиба валков:

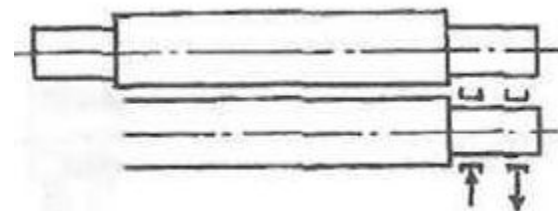
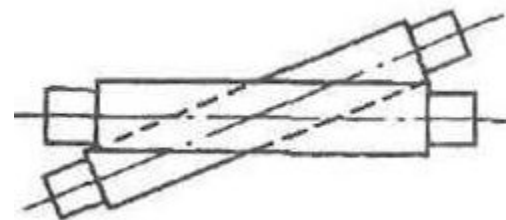
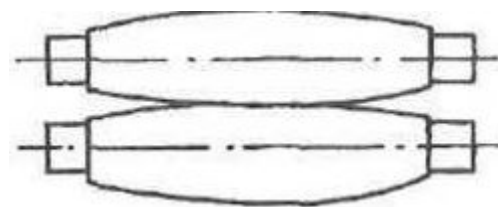
1 - бомбировка валков; 2- перекрещивание валков; 3 - контризгиб валков

Бомбировка валков заключается в придании им бочкообразной формы. Увеличение диаметра средней части валка по сравнению с диаметром по краям обеспечивает только частичную компенсацию, поскольку прогиб зависит от величины распорного усилия. Распорное усилие определяется перерабатываемым материалом, режимом переработки, размером зазора.

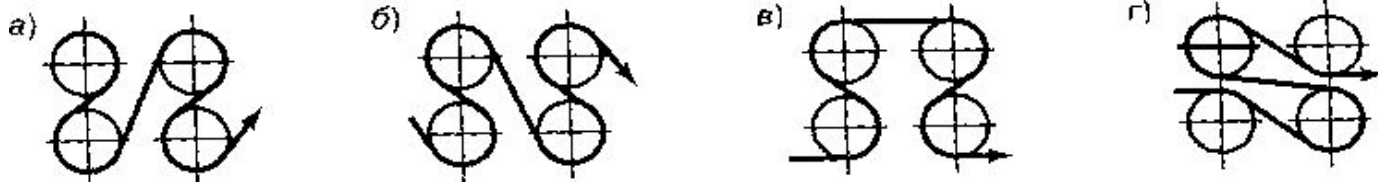
Перекрещивание валков. Компенсацию прогиба валков непосредственно при наладке конкретного технологического режима переработки производят при помощи предусмотренного в конструкции каландра механизма перекрещивания валков. Клинья механизма перекрещивания разводят концы крайних валков в горизонтальной плоскости. *Прогиб компенсируется тем, что зазоры по краям валков становятся больше, чем в середине.*

Недостатком метода является смещение формуемого полотна, так как деформация сдвига направлена перпендикулярно движению материала и перекрещивание валка увлекает материал в сторону. Реже в качестве дополнительного приема применяется **контризгиб валков**. В этом случае прогиб валков уменьшают за счет усилия от гидроцилиндров, прикладываемого к шейкам валка в направлении, противоположном направлению распорного усилия. Очевидный недостаток данного способа - более тяжелые условия работы подшипников.

Комбинация указанных методов компенсации прогиба валков позволяет довести отклонение толщины пленки по ее ширине до 1—2 мкм.

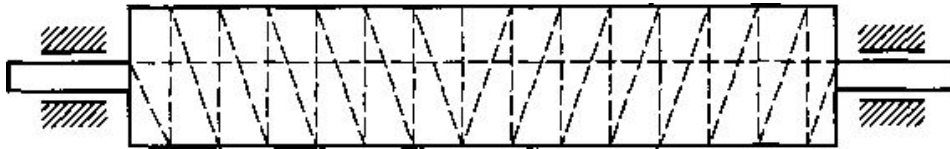


Система охлаждающих барабанов и ширительного устройства



Схемы огибания охлаждающих барабанов листовым материалом:

а, б - наиболее благоприятные варианты огибания;
в, г - нежелательные варианты



Принципиальная схема вала ширительно-расправочного устройства

Из вспомогательных устройств каландровой линии для производства плоской пленки из полимерных материалов важнейшим является **ширительно-расправочное устройство**. Ширительно-расправочное устройство представляет собой один или несколько валков, огибаемых лентой каландрируемого материала. Поверхность одного из валиков (реже двух) снабжена винтовой нарезкой, причем на одной половине длины валика нарезка выполняется правой, а на другой левой.

Охлаждение полотна на охлаждающих барабанах

Полученное полотно охлаждается при помощи валков, внутрь которых подается вода. В зависимости от конструкции устройства процесс охлаждения может быть односторонним или двухсторонним.

При производстве пленки или листа из кристаллизующихся полимеров (полиэтилена, полипропилена и ряда других полимеров) необходимо обеспечивать прижим пленки к поверхности охлаждаемого барабана или валка. Охлаждение полотна из кристаллизующихся полимеров следует проводить при равномерной температуре поверхности валка или барабана, поскольку от этого зависит однородность структуры и степень кристалличности. Длина дуги валка, охватываемой расплавом S , и число валков m рассчитывают, исходя из времени охлаждения и скорости движения пленки:

$$S = 2t_{\text{охл}}v/m$$

где v — скорость движения пленки; $t_{\text{охл}}$ — время охлаждения, рассчитываемое по уравнению двухсторонней нестационарной теплопередачи, m — число валков

В зависимости от толщины и кратности вытяжки скорость намотки пленки для жесткого ПВХ составляет приблизительно от 40 до 100 м/мин, а для пластифицированного ПВХ — от 80 до 120 м/мин.

Состав комплектной каландровой линии

Комплектная каландровая линия должна включать:

- отделение подготовки композиции;
- вальцы для переработки пластмасс;
- каландровую линию для переработки пластмасс (каландр; съемное устройство; охлаждающие валки; системы транспортирования пленки, измерения ее толщины в процессе каландрования, изменения зазора между валками каландра; обрезное устройство и система возврата пленки на переработку; тянущее и отрезное устройства; устройство для дублирования на каландре; многопозиционное наматывающее устройство;
- станцию подготовки перегретой воды;
- систему передачи материала от экструдера к вальцами от вальцев к каландру;
- систему отбора (улавливания) выделяющихся вредных веществ;
- устройство для полировки валов непосредственно на каландре (суперфиниш);
- систему перемотки и контроля пленки.

Режимы каландрования при изготовлении листов и пленок из композиций на основе различных типов ПВХ

	Композиции ПВХ-С74	на основе ПВХ-С63М
Температура валков, °С		
первого	120	125
второго	125	130
третьего	130	135
четвертого	115	120
Фрикция в зазорах		
начальном	1,0—1,2	1,0—1,2
промежуточном	1,4—1,6	1,4—1,6
калибрующем	1,8—2,1	1,8—2,1
Производительность, м/мин.	12,5	12,5

Параметры процесса каландрования

Пленка, полученная каландровым способом, обладает **продольной ориентацией**. Так, при переработке пластифицированного ПВХ линейная скорость отбора охлажденной пленки превышает окружную скорость последнего валка каландра на 30-100%, без учета дополнительной вытяжки пленки. Поэтому прочность при растяжении в продольном направлении на 10—20% выше прочности в поперечном направлении.

Производительность каландра в случае однократного пропуска через него перерабатываемого материала определяется формулой:

$$G = \pi nDK\delta\rho\varphi,$$

где G — массовая производительность; K — коэффициент опережения ($K = 1,5-1,1$); δ — высота межвалкового зазора; ρ — плотность полимера; φ — коэффициент использования машинного времени (0,9); n — частота вращения валка; D — диаметр валка.

Коэффициент опережения обусловлен превышением скорости выхода пленки по сравнению с окружной скоростью вращения поверхности валка.

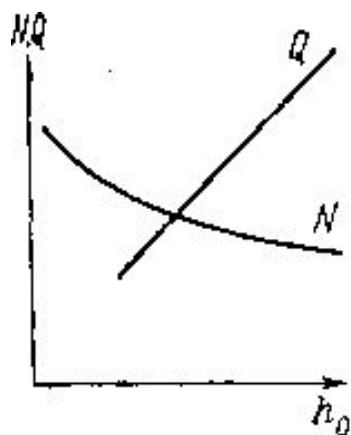
Распорное усилие P в первом приближении определяется по формуле:

$$P = \eta V D l \left(\frac{1}{h_0} - \frac{1}{H} \right)$$

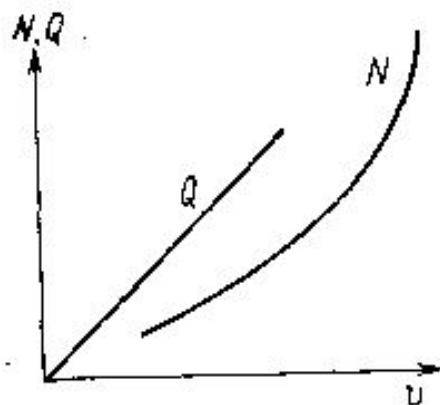
где η — коэффициент вязкости материала; l — расстояние между подшипниками валков, принимаемыми за его опоры; D — диаметр валков, V — окружная скорость валков, h_0 и H — высота зазора между валками и высота запаса материала.

Определение вязкости полимерного потока существенно затрудняет использование внешне простого уравнения. Дело в том, что вязкость полимера в рабочем зазоре является функцией нескольких параметров, среди которых температура, скорость сдвига и напряжение, зависящее, в том числе и от самого распорного усилия.

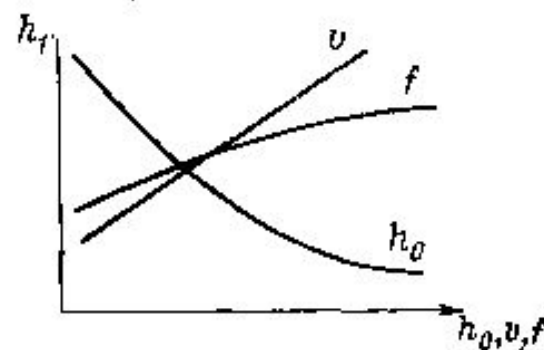
Влияние параметров процесса каландрования



Влияние минимального зазора на потребляемую мощность N и производительность Q .



Влияние скорости валков v на потребляемую мощность N и производительность Q .



Влияние минимального зазора h_0 , скорости v и фрикции f на толщину материала.

Производительность четырехвалкового Г-образного каландра при изготовлении пленки разной толщины

Толщина пленки, мм	Масса 1 м², кг	Масса 1 пог. м (ширина 1600 мм), кг	Скорость намотки, м/мин	Производительность, кг/ч
0,08	0,108	0,173	50-60	520—620
0,10	0,136	0,218	45-55	590—720
0,20	0,272	0,435	35-40	910 — 1000
0,30	0,408	0,653	25-30	950—1100
0,40	0,544	0,870	25-30	1300-1550
0,50	0,680	1,088	24	1550
0,60	0,816	1,306	20	1550

Виды брака при каландровании

Виды брака	Причины возникновения	Способ устранения
Периодические сдиры на поверхности листа или пленки	Механические дефекты валков Неравномерный обогрев валков	Отшлифовать или заменить валки Проверить систему обогрева валков
Плохой глянец поверхности листа	Нарушение чистоты поверхности валков Неравномерное охлаждение листа или пленки Плохое перемешивание массы	Отшлифовать (отполировать) или заменить валки Проверить температуру охлаждающего валка Улучшить перемешивание массы в смесителе и на вальцах
Пятна на поверхности листа или пленки	Загрязнение композиции Недостаточное охлаждение на охлаждающем валке	Заменить композицию. Увеличить охлаждение
Шероховатость поверхности, матовые полосы	Низкая температура валков. Высокая скорость каландрования. Те же причины, что и при плохом глянце	Повысить температуру валков Снизить скорость каландрования Те же меры, что и при плохом глянце
Посторонние включения. Хрупкость пленки, включения непровальцованного материала	Загрязненное сырье Перерабатываемая композиция плохо провальцована	Заменить сырье Улучшить вальцевание композиции
Изменение цвета листа или пленки	Высокая температура каландрования	Снизить температуру поверхности валков каландра
Образование воздушных пузырей и включений	Недостаточное давление, развиваемое в зазоре	Уменьшить (если возможно) зазор между валками или применить устройство для повышения давления (например, клиновое) .
Образование гофр на поверхности листа или пленки	Высокая скорость каландрования. Низкая температура каландрования.	Снизить скорость каландрования. Повысить температуру каландрования
Слипание пленки при намотке	Недостаточное охлаждение пленки	Усилить или заменить систему охлаждения валков
Разнотолщинность по ширине	Неправильно установлен зазор между Валками или перекос валков.	Правильно установить зазор между валками Правильно установить перекос валков

Использованная литература

1. Переработка пластмасс под ред. Брагинского В.А. Л., Химия, 1985 г.
2. Основы технологии переработки пластмасс. Учебник для вузов. С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев и др.-М.: Химия, 2004
3. Шерышев М.А. Производство изделий из полимерных пленок, С-Петербург, НОТ, 2011 г.
4. Оленев Б.А., Мордкович Е.М., Калошин В.Ф. Проектирование производств по переработке пластических масс, М., Химия, 1982 г.
5. М. Шиллер. Добавки к ПВХ. Состав свойство применение. С-Петербург, Профессия, 2017 г.
6. Бортников В.Г. Основы технологии переработки пластических масс, Л., Химия, 1983 г.

Вопросы по теме

1. Чем отличается процесс каландрования от плоскощелевой экструзии
2. Какие материалы перерабатывают каландрованием, требования к материалам
3. В каком фазовом состоянии перерабатывают полимеры каландрованием
4. Какое устройство является формирующим инструментом пленки или листа.
5. Почему возникают распорные усилия валков каландра. Методы компенсации распорного усилия.
6. Что такое фрикция. Диапазон коэффициентов фрикции валков каландра.
7. Как можно снять ориентационные напряжения в каландрованной пленке.
8. Посчитать распорное усилие для композиции жесткого ПВХ (вязкость равна $40000 \text{ Па} \cdot \text{с}$, расстояние между подшипниками 1200 мм , диаметр валков 400 мм , окружная скорость вращения 5 м/мин. , высота зазора 1 мм , высота наплыва 6 мм).