

Министерство образования и науки России
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

А.Н. Садова, О.Н. Кузнецова, В.Н. Серова,
А.Е. Заикин, О.В. Стоянов

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК ИЗ РАСПЛАВОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ СВОЙСТВ

Учебное пособие

Казань
Издательство КНИТУ
2013

УДК 678-416
ББК 35.719

Садова А.Н.

Технология получения полимерных пленок из расплавов и методы исследования их свойств : учебное пособие / А.Н. Садова [и др.]; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2013. – 224 с.

ISBN 978-5-7882-1348-4

Изложены приемы и способы получения различных полимерных пленок в лабораторных условиях. Приведено описание лабораторного и промышленного оборудования для получения и испытания полимерных пленок.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 240100 «Химическая технология и биотехнология», подготовки магистров и бакалавров (профиль – Технология и переработка полимеров) по специальностям 240501 «Химическая технология высокомолекулярных соединений», 240502 «Технология переработки пластических масс и эластомеров» 261201 «Технология и дизайн упаковочного производства» и 261202 «Технология кинофотоматериалов и магнитных носителей», а также может быть полезно для магистров, аспирантов и научных сотрудников, занимающихся получением и испытанием полимерных пленок и пленочных материалов.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского национального исследовательского технологического университета

Рецензенты: проф. *О.С. Сироткин*
проф. *Л.А. Абдрахманова*

ISBN 978-5-7882-1348-4

© Садова А.Н., Кузнецова О.Н., Серова В.Н.,
Заикин А.Е., Стоянов О.В., 2013
© Казанский национальный исследовательский
технологический университет, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Исследование процесса получения пленочного материала методом экструзии.....	8
Работа 1.1 Изготовление плоских пленок методом экструзии....	16
2 Исследование процесса получения полимерных пленок методом каландрования.....	26
Работа 2.1 Получение полимерных пленок на основе поливинилхлорида методом каландрования.....	42
3 Исследование свойств полимерных пленочных материалов	47
3.1 Определение геометрических и массовых (товароведческих) характеристик пленок.....	47
Работа 3.1 Определение длины пленки	47
Работа 3.2 Определение ширины пленки.....	49
Работа 3.3 Определение толщины пленки.....	50
Работа 3.4 Определение массы пленки в рулоне.....	53
Работа 3.5 Определение единицы площади пленки.....	54
Работа 3.6 Определение массы единицы объема пленки (плотности) по методу обмера и взвешивания, по методу гидростатического взвешивания.....	54
Работа 3.7 Определение укрывистости пленки.....	60
3.2 Определение органолептических свойств полимерных пленок.....	61
Работа 3.8 Оценка свойств пленки по внешнему виду.....	63
3.3 Исследование физико-механических свойств полимерных пленок.....	66
Работа 3.9 Определение устойчивости полимерных пленок к многократному изгибу.....	73
Работа 3.10 Определение упругопрочностных свойств пленочного материала при растяжении.....	77
Работа 3.11 Определение разрушающего напряжения при растяжении при повышенных и пониженных температурах.....	85
Работа А Проведение испытания при одиночном растяжении образца при температуре окружающей среды.....	89
Работа Б Проведение испытания при одиночном растяжении образца и нагреве термокриокамеры от 20 до 130 ⁰ С.....	90
Работа В Проведение испытания при одиночном растяжении образца и охлаждении в термокриокамере.....	91

Работа Г Проведение испытания при однократном растяжении образца с поддержанием заданной нагрузки.....	91
Работа Д Проведение испытания при многократном растяжении образца в пределах заданных значений нагрузки (циклическая нагрузка).....	91
Работа Е Проведение испытания при многократном растяжении образца в пределах заданных значений перемещения активного захвата (циклическая деформация).....	92
Работа 3.12 Определение сопротивления раздиру.....	94
Работа 3.13 Определение жесткости полимерных пленок.....	98
3.4 Определение физико-химических свойств полимерных пленок.....	104
Работа 3.14 Определение влагопроницаемости полимерных пленок.....	104
Работа 3.15 Определение водопроницаемости пленок при гидростатическом давлении.....	106
Работа 3.16 Определение водопоглощения полимерных пленочных материалов.....	108
Работа 3.17 Определение водопоглощения полимерных пленок в холодной кипящей воде.....	111
Работа 3.18 Определение водопроницаемости полимерных пленок.....	114
Работа 3.19 Определение стойкости полимерных пленок к действию химических сред.....	116
Работа 3.20 Предварительная оценка стойкости полимерной пленки к воздействию химических реагентов по изменению механических показателей.....	125
Работа 3.21 Определение горючести полимерных пленок по кислородному индексу.....	126
Работа 3.22 Определение стойкости полимерного материала к старению.....	133
3.5 Диэлектрические свойства полимерных пленок.....	138
Работа 3.23 Определение удельного объемного и удельного поверхностного электрических сопротивлений полимерных пленок.....	144
Работа 3.24 Определение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь полимерных пленок....	147

Работа 3.25 Определение электрической прочности полимерных пленок.....	153
Работа 3.26 Определение электростатических свойств полимерных пленок и пленочных материалов.....	156
3.6 Определение технологических свойств полимерных пленок.....	166
Работа 3.27 Исследование процесса сварки полимерных пленок.....	172
3.7 Оптические свойства полимерных пленок.....	176
Работа 3.28 Определение коэффициента пропускания полимерных пленок.....	193
Работа 3.29 Определение показателя преломления полимерных пленок.....	198
Работа 3.30 Определение коэффициента отражения полимерных пленок.....	202
Работа 3.31 Определение поглощения света полимерными пленками.....	205
Работа 3.32 Определение светостойкости полимерных пленок.....	207
Работа 3.33 Определение светостойкости окрашенных полимерных пленок.....	208
3.8 Определение теплофизических свойств полимерных пленок.....	210
Работа 3.34 Определение теплостойкости полимерных пленок.....	211
Работа 3.35 Определение морозостойкости полимерной пленки.....	212
4 Список литературы.....	219
Приложение. Техника безопасности при выполнении лабораторного практикума. Общие правила.....	222

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные пленки – это сплошные слои полимеров толщиной от 0,1 до 0,2 мм. Более толстые слои полимерных материалов называются листами. Пленки полимерные получают из природных, искусственных и синтетических полимеров. К первой группе относятся пленки, изготавливаемые из природных полимеров, таких как натуральный каучук, целлюлоза и др. К пленкам, полученным из искусственных полимеров, относятся гидратцеллюлозные пленки (целлофан), эфироцеллюлозные пленки, а также пленки из натурального каучука, предварительно подвергнутого гидрохлорированию — гидрохлоридкаучуковые пленки.

Самую обширную группу составляют пленки на основе синтетических полимеров. Среди пленок этой группы наибольшее распространение получили:

- полиолефиновые пленки;
- поливинилхлоридные пленки;
- поливинилиденхлоридные пленки;
- полиимидные пленки;
- полиамидные пленки;
- полистирольные пленки;
- полиэтилентерефталатные пленки.

Чаще всего пленки применяются в качестве упаковочных материалов для пищевых продуктов, товаров широкого потребления, жидких и сыпучих химических и нефтехимических товаров, для бытовых целей. Для изготовления упаковочных пленок используют полиэтилен, полипропилен, целлюлозу и ее эфиры, полимеры и сополимеры винилхлорида, полистирол, полиамиды, полиэфиры, гидрохлорид натурального каучука и др. Некоторыми специфическими свойствами обладают упаковочные многослойные материалы типа пленка — пленка, пленка — бумага или пленка — фольга, а также вспененные пленки.

Широкое распространение получили электроизоляционные пленки, используемые для изготовления обмоточных и монтажных проводов и кабелей, в производстве конденсаторов для пазовой изоляции электрических машин. Наиболее широко в электротехнике и электромашиностроении применяют полистирольные, полиэтилентерефталатные, поликарбонатные, политетрафторэтиленовые, поли-

имидные и полиолефиновые пленки. В кабельной промышленности получили распространение пленки в сочетании со специальными сортами бумаги, стекловолокном или синтетическими волокнами. В электромашиностроении пленки комбинируют со специальными сортами бумаги и картона, применяют также электроизоляционные материалы, представляющие собой пленки, на которые наклеены очень тонкие чешуйки стекла и слюды или асбестовые волокна.

Из атмосферостойких прозрачных полимерных пленок (полиэтиленовых, полиамидных, поливинилхлоридных и полиэтилентерефталатных, в некоторых случаях армированных стекловолокном или тканями основе синтетических волокон) изготовляют парники, рамы, крыши теплиц, переносные атмосферозащитные покрытия, предохраняющие растения в открытом грунте от заморозков или создающие внутри покрытия микроклимат, благоприятный для вегетации растений.

Гидроизоляционные пленки используют в строительстве при сооружении искусственных водоемов, каналов и для других целей.

Поляроидные пленки — пленки, которые способны поляризовать проходящий свет. Изготавливают поляроидные нитратцеллюлозные, ацетатцеллюлозные или поливинилспиртовые трехслойные пленки, в среднем в которых диспергированы и определенным образом ориентированы игольчатые кристаллы герпатита (кислого сульфат-трииодида хинина).

Поляроидные пленки широко применяются в качестве светофильтров для борьбы с ослеплением шоферов светом фар встречных машин, для регулирования степени освещенности при постоянной мощности источника света, для разнообразных способов сигнализации, замены никелей оптических приборов, изготовления и демонстрации стереоскопических фильмов, создания художественных изображений в интерференционных цветах и для других целей.

Ионообменные пленки применяют для извлечения веществ с помощью электролиза, опреснения соленой воды, при очистке органических соединений или их растворов (например, сахарных или гидролизных сиропов от минеральных примесей), для концентрирования растворов, разделения и идентификации различных соединений и целей.

В большинстве случаев пленки из синтетических полимеров по комплексу физико-механических и химических свойств, превосхо-

дят пленки из природных и искусственных полимеров, поэтому их промышленное производство и потребление непрерывно возрастают.

В настоящем практикуме рассмотрены наиболее распространенные промышленные методы получения полимерных пленок из расплавов и способы оценки их свойств: товароведческих (геометрических), физико-химических, физико-механических, диэлектрических, оптических, технологических и других свойств полимерных пленочных материалов.

Учебный практикум ставит своей целью углубление теоретических знаний в области получения и применения полимерных пленок; получение навыков оценивания свойств пленочных полимерных материалов, умения выбрать полимер и способ его переработки в листовую или пленочный материал, а также параметры технологического процесса переработки полимера в изделие; с помощью изложенных в пособии методов испытаний полимерных пленочных материалов определить их конкретные физико-химические свойства и обработать результаты эксперимента.

Учебный практикум предназначен для студентов специальностей 240501 «Химическая технология высокомолекулярных соединений», 240502 «Технология переработки пластических масс и эластомеров» 261201 «Технология и дизайн упаковочного производства» и 261202 «Технология кинофотоматериалов и магнитных носителей» всех форм обучения, а также может быть полезен для специалистов, занятых в области получения и применения полимерных пленок.

1 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОЧНОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ

Особенности переработки полимеров методом экструзии

Процесс экструзии заключается в непрерывном выдавливании расплава полимера через формующую головку, придании ему необходимой конфигурации с последующим охлаждением готового изделия, например, пленки или полотна. Течение расплава через формующие головки происходит под действием давления, которое создается при вращении шнека экструдера. Экструдер (экструзионный агрегат) должен обеспечивать передвижение полимера вдоль цилиндра, его плав-

ление и гомогенизацию расплава, а также создание в цилиндре машины гидростатического давления. Методом экструзии изготавливаются трубы, пленки, профили, сетки из термопластичных полимеров – полиэтилена, полистирола, поликарбоната, поливинилхлорида и др. Поскольку процесс экструзии осуществляется непрерывно, он является наиболее прогрессивным методом изготовления изделий из пластмасс.

При изготовлении изделий методом экструзии в полимерах протекают в основном физические процессы, например, фазовые или агрегатные изменения полимера. К химическим процессам, протекающим при экструзии, можно отнести термическую и механическую деструкцию полимеров, обусловленную соответственно высокими температурами и большими сдвиговыми напряжениями, возникающими при течении расплава полимера в рабочих узлах экструдера и каналах формирующей головки. При обеспечении определенных технологических параметров эти химические процессы могут быть сведены к минимуму или полностью исключены.

Технологические процессы, происходящие в экструдере

Назначение экструдера состоит в перемещении, уплотнении, пластикации и гомогенизации полимерной массы, направляемой в формирующую головку.

Все эти технологические процессы происходят внутри материального цилиндра. Именно поэтому шнек разделен на несколько зон (рис. 1.1). Разделение шнека на зоны следует из ставящихся перед экструдером задач.



Рисунок 1.1 — Разделение шнека на три стадии технологического процесса

Движение полимера в зоне питания (загрузки)

В одношнековом экструдере движение материала в зоне питания (загрузки) происходит за счет сил трения между полимерной массой, стенкой цилиндра и шнеком.

В этом случае действительна следующая формулировка: чем меньше коэффициент трения между шнеком и полимером, и чем выше коэффициент трения между стенкой материального цилиндра и полимером, тем лучше проходит процесс движения материала.

При правильно выбранном технологическом режиме стенки цилиндра задерживают вращение гранул полимера, и они шнеком перемещаются вдоль оси. Для увеличения сил трения между полимером и цилиндром на внутренней поверхности цилиндра делают продольные или винтовые канавки. Это способствует увеличению производительности машины и улучшает стабильность ее работы. По мере продвижения под действием возникающего давления гранулы уплотняются и в последующем перемещаются в виде твердого слоя (винтовой пробки) без пересыпания в канале шнека. Поскольку твердый слой частично проскальзывает относительно поверхности цилиндра и шнека, то движение его происходит по винтовой линии относительно оси.

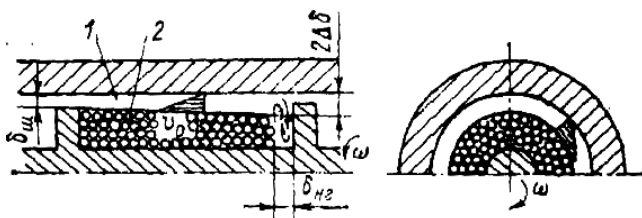
Движение полимера в зоне сжатия или плавления

Процесс перехода полимера в вязкотекучее состояние начинается на входе в зону плавления, когда вследствие теплоты трения и контакта материала с горячей поверхностью появляется слой расплава. Первоначальное появление расплава на поверхности шнека или цилиндра зависит от температуры и скорости скольжения материала, а также возникающего давления.

В данном случае нагревание зависит от тепловых потоков, обусловленных теплопроводностью и диссипацией энергии трения. Поскольку температура цилиндра поддерживается выше, чем температура шнека, расплав вначале появляется на поверхности цилиндра. На входе в зону плавления слой расплава имеет незначительную толщину и не срезается нарезкой шнека. В этом случае движение материала происходит за счет течения вязкой жидкости по поверхности цилиндра и скольжения твердого слоя гранул по поверхности шнека. Не расплавившиеся гранулы, частично уплотненные под действием давления, движутся с той же скоростью, как в зоне загрузки. В зависимости от этой скорости развивается профиль скорости вязкого течения в пленке расплава на поверхности цилиндра. Поскольку объем, занимаемый гранулами, при плавлении уменьшается, шнек в зоне плавления обычно имеет уменьшающуюся глубину, что обеспечивает

постепенное сжатие и уплотнение пористого слоя гранул. Под действием давления расплав заполняет воздушные полости между гранулами, что увеличивает коэффициент теплопроводности и повышает скорость плавления полимера. Изменение давления по длине канала шнека зависит от соотношения крутящих моментов, возникающих на поверхностях шнека и цилиндра.

На участке, где толщина слоя расплава превышает радиальный зазор между нарезкой шнека и цилиндром $\delta_{ш}$, происходит его срезание и накопление у набегающей (напорной) грани шнека. Расплав у напорной грани движется вокруг оси шнека и, кроме того, в нем за счет избыточного давления возникают циркуляционные потоки, как показано стрелками на рис. 1.2. Поскольку глубина канала нарезки значительно меньше ширины, то циркуляционные вихри распространяются не по всей ширине канала, а примерно на расстояние $l = \delta_{не} = 2h$. При этом слой расплава, находящийся между цилиндром и слоем гранул, движется со скоростью v_m .



1 – расплав полимера; 2 – гранулы полимера

Рисунок 1.2 — Схема движения гранул и пленки расплава полимера в зоне плавления

Одним из основных параметров, влияющих на скорость плавления, является температура цилиндра, поэтому ее значение выбирается с таким расчетом, чтобы выполнялось условие: изменение толщины слоя расплава должно равняться изменению глубины нарезки шнека, $\Delta\delta \approx \Delta h$, (Δh - изменение глубины канала нарезки шнека на длине l). Это означает, что уменьшение толщины слоя гранул должно несколько опережать уменьшение глубины канала. В противном случае может произойти заклинивание слоя гранул и производительность экструдера понизится.

Из рассмотренного следует, что по мере продвижения полимера ширина и толщина слоя гранул постепенно уменьшается; а количество расплава у напорной грани возрастает. На процесс плавления полимера влияет также теплота, выделяемая на поверхности шнека от трения. Когда температура на поверхности шнека достигнет температуры плавления, на ней также появляется слой расплава, что значительно ускоряет плавление.

От скорости плавления гранул в зоне сжатия в значительной степени зависит гомогенизация расплава в последующей зоне дозирования, а соответственно изменяется и качество изделий. Чем раньше заканчивается плавление, тем лучше происходит смешение расплава и выше его однородность.

Закономерности течения расплава в зоне дозирования

В конце зоны плавления, когда основная часть канала шнека заполнена расплавом, слой гранул разрушается на отдельные части и дальнейшее движение полимера осуществляется за счет вязкого течения.

Поскольку частицы твердого полимера сравнительно невелики, то они не оказывают существенного влияния на характер течения расплава. Большинство полимеров в вязкотекучем состоянии обладают адгезией к металлам, поэтому при течении они не проскальзывают относительно поверхностей каналов. Вследствие этого расплав полимера, находящийся между неподвижным цилиндром и вращающимся шнеком, течёт как неньютоновская жидкость в кольцевом цилиндрическом канале. В данном случае слой расплава, прилегающий к цилиндру, остается неподвижным, а расплав, находящийся около шнека, вращается вместе с ним. Часть расплава, которая остается неподвижной, срезается с поверхности цилиндра винтовым выступом нарезки шнека, вследствие чего по ширине канала возникает перепад давления.

Снижение производительности от перепада давления в зоне дозирования является отрицательным явлением. Однако с ростом давления в формующей головке увеличивается время деформирования расплава и растёт скорость сдвига в каналах шнека, что способствует лучшей гомогенизации расплава и, следовательно, повышению качества изделий, получаемых методом экструзии. Схема течения распла-

ва показана на рис. 1.3. Как видно из рисунка, расплав в канале шнека совершает вращательное движение вокруг оси цилиндра и одновременно течет вдоль оси по кольцевому зазору между цилиндром и поверхностью шнека со скоростью v_z .

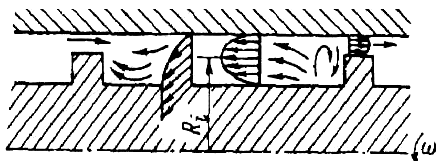


Рисунок 1.3 — Схема течения расплава полимера в канале шнека зоны дозирования

При этом у набегающей грани выступа нарезки образуется циркуляционный поток. Кроме этого, под действием давления, возникающего у набегающей грани нарезки шнека, часть расплава перетекает через радиальный зазор между выступом нарезки шнека и цилиндром, т. е. возникает поток утечек, который также уменьшает производительность.

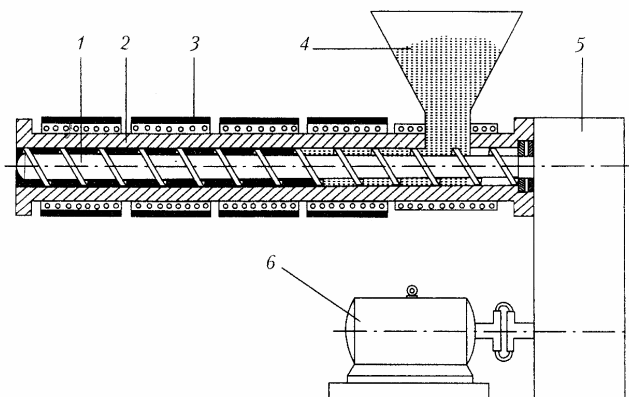
Следует заметить, что расчёт проводят при условии равенства массовых расходов (производительностей) в зонах загрузки (Q_z), плавления (Q_m), дозирования (Q_d) и формующей головки (Q_f):

$$Q_z = Q_m = Q_d = Q_f$$

Кроме этого, учитываются условия течения расплава в головке, поскольку степень ориентации макромолекул зависит от напряжений сдвига в формующих каналах. На качество изделий влияют также процессы, происходящие после выхода экструдата из головки, - вытяжка расплава, обуславливающая ориентацию макромолекул.

Основные узлы и принцип работы экструдера

Одношнековый экструдер состоит из материального цилиндра с размещенным в нем шнеком, электродвигателя, загрузочного бункера и редуктора (рис. 1.4). На цилиндре устанавливаются несколько кольцевых нагревателей (от 4 до 6), каждый из которых регулируется индивидуально. Как правило, в каждой зоне нагрева смонтировано охлаждающее устройство, что повышает точность регулировки температуры.



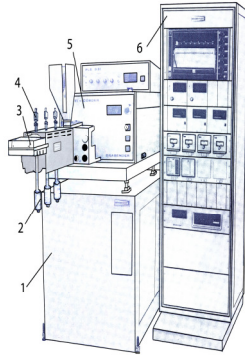
1 – шнек; 2 – материальный цилиндр; 3 – нагреватели;
4 - загрузочный бункер; 5 – редуктор; 6 – двигатель

Рисунок 1.4 — Схематическое изображение экструдера

Для предотвращения преждевременного оплавления полимерной массы зона цилиндра, находящаяся в непосредственной близости от загрузочного отверстия, в процессе работы экструдера постоянно охлаждается.

Описание основных узлов лабораторной установки

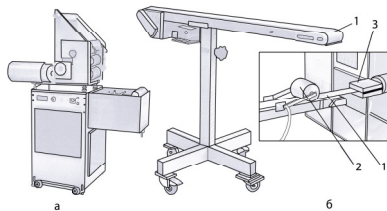
Для исследования наиболее часто применяют лабораторные экструзионные установки фирмы Брабендер, общий вид которой показан на рис. 1.5. Экструзионный агрегат устанавливают на тумбе-подставке 1 и оснащают термopарами 4, которые с вторичными приборами обеспечивают измерение и регулирование температуры цилиндра. Для измерения давления расплава внутри цилиндра по зонам экструдера и на входе в головку установлены датчики давления 2. Основные параметры технологического процесса регистрируются на приборах и вводятся в компьютер, которые смонтированы на щите управления 6.



1 – тумба-подставка, 2 – датчик давления, 3 – плоскощелевая головка,
4 – термопары, 5 – головка, 6 – щит управления

Рисунок 1.5 — Общий вид лабораторной экструзионной установки

Исследование процесса экструзии обычно проводится при изготовлении листов (лент), из которых штампом вырубаются стандартные лопаточки. Для формирования листового профиля на экструдер устанавливают плоско-щелевую формующую головку 3, расплав из которой подается на ленточный транспортёр 1 (рис. 1.6б) и прижимается к ленте роликом 2, рис. 1.6б. Охлаждение экструзионного полотна производят за счёт обдува холодным воздухом или за счёт подачи воды внутрь прижимного ролика 2.



1 – ленточный транспортёр, 2 – прижимные ролики,
3 - плоскощелевая головка

Рисунок 1.6 — Конструкция ленточного и валкового приемного устройства

Привод ленточного транспортёра позволяет плавно изменять скорость отвода экструдата, за счёт чего можно менять коэффициент

вытяжки расплава и соответственно степень ориентации макромолекул. При необходимости калибрования экструдата, т.е. для обеспечения глянцевого покрытия и заданной толщины полотна, применяется валковое приемное устройство, которое работает как каландр и охлаждающее устройство одновременно, рис. 1.6а. Экструдат последовательно проходит через несколько межвалковых зазоров, где принимает необходимую толщину и гладкость поверхности.

Работа 1.1 Изготовление плоских пленок методом экструзии

Цель работы:

- ознакомиться с технологическим процессом изготовления плоских пленок методом экструзии и методикой расчета технологических параметров процесса;
- исследовать влияние основных технологических параметров на свойства изделий;
- изучить методику разработки технологических карт процесса.

Содержание работы:

1. Изучить устройство и принцип действия экструзионной установки.
2. Освоить процесс изготовления плоских пленок методом экструзии.
3. Рассчитать технологические параметры для полимера, предназначенного к переработке и заполнить технологическую карту.
4. Изготовить пленки согласно разработанной технологии и подготовить для испытаний стандартные образцы в продольном и поперечном направлении.
5. Провести оценку свойств пленки.
6. Определить анизотропию полученной пленки.

Расчет технологических параметров процесса экструзии

Методика расчета технологических параметров разработана проф. Бортниковым В.Г.). [4]

Основными технологическими параметрами процесса экструзии являются: температура расплава (формирующей головки), скорость отвода листа или пленки, скорость вращения шнека и давление на входе в формирующую головку.

Температура расплава при формировании изделий должна за счет изменения вязкости обеспечивать заданную скорость течения полимера, при этом потери давления в каналах головки должны быть в пределах $15 \text{ МПа} \leq \Delta p \leq 30 \text{ МПа}$. При низком давлении ухудшается гомогенизация расплава, а при большом перегружается привод экструдера.

Температура расплава при экструзии должна также обеспечивать определённую величину вязкоупругих свойств, позволяющую сохранять экструдату заданную форму на выходе из головки, т.е. самопроизвольно не провисать и не разрываться от действия сил гравитации перед поступлением на приемное устройство.

Расчет температуры экструзионной головки можно выполнить с использованием показателя текучести расплава или использовать реологические данные (методика расчета технологических параметров разработана проф. Бортниковым В.Г.). [4]

Исходные данные для расчета реологических характеристик полиэтилена:

величина показателя текучести расплава ПТР = J , г/10 мин.; T_i - температура испытаний; G_i - масса груза; l_i - длина капилляра; R_i - радиус капилляра; $R_{ш}$ - радиус штока.

Показатель текучести расплава термопласта – это масса полимера, проходящая через стандартное сопло прибора в течение 10 минут при температуре и нагрузке, соответствующим ГОСТ 11645-73 (см. табл. 1.1), выражается в г/10 мин. Другими словами, показатель текучести расплава – это массовая скорость течения, выраженная в грамах за 10 минут.

Таблица 1.1 — Условия испытаний при определении показателя текучести расплава

Термопласт	Температура, °С	Масса груза, г
Полиэтилен ВД	190±0,5	2160
Полиэтилен НД	190±0,5	5000
Полипропилен	230±0,5	2160
Полистирол	200±0,5	5000

Исходные реологические характеристики для полиэтилена можно найти на реологической номограмме по показателю текучести

(рис. 1.7). Верхняя шкала значений ПТР рассчитана для груза $G_i = 5$ кг, нижняя для груза $G_i = 2,16$ кг при радиусе капилляра $R_i = 1$ мм. Например, для полиэтилена низкой плотности с показателем текучести расплава $ПТР = 0,23$ г/10 мин.

Эта точка соответствует координатам $\gamma_i = 0,8 \text{ с}^{-1}$, $\tau_i = 1,4 \cdot 10^4$ Па.

Пользуясь найденными значениями τ_i и γ_i или τ_w и γ_w из реологической кривой на номограмме при скорости сдвига γ_i в середине области переработки находим точку, для которой напряжение сдвига равно τ_n . Напряжение сдвига τ_n находят в реологической области 1 номограммы при изготовлении труб, а для пленок и листов щелевым методом в областях 2 или 3.

Используя полученные значения τ_n и τ_i , рассчитываем температуру расплава при выходе из формующей головки T_p :

$$T_p = \frac{T_i E_\gamma}{E_\gamma - RT_i \ln(\tau_i / \tau_n)},$$

где T_i - температура измерения показателя текучести расплава полимера, $^{\circ}\text{K}$; E_γ - энергия активации вязкого течения при скорости сдвига γ_i , Дж/моль; R - газовая постоянная.

Энергия активации вязкого течения E_γ определяется из справочников или рассчитывается по экспериментальным данным реологических зависимостей при скорости сдвига γ_i . Скорость сдвига – это интенсивность изменения скорости одного слоя потока относительно второго, расположенного от первого на некотором расстоянии.

Найденная температура устанавливается в зоне дозирования экструдера и в мундштуке формующей головки. В зоне под бункером температура должна быть ниже температуры размягчения материала, чтобы избежать налипания полимера на червяк.

Например, при переработке полиэтилена в зоне загрузки поддерживается температура 50 – 60 $^{\circ}\text{C}$.

От зоны загрузки к головке температура цилиндра плавно повышается (см. таблицу 1.1).

В зоне сжатия (плавления) она должна быть выше температуры плавления. Для большинства полимеров этот характер справедлив, но для таких полимеров как полиамид, полиэтилентерефталат, поликарбонат метод расчета с использованием номограммы должен уточняться экспериментально.

Температура экструзии для полиамидов, капрона и полиэтилен-терефталата принимается равной $T_3 = T_{пл} + 20$, а для поликарбоната $T_3 = T_d - 10$ (T_d – температура длительной термостойкости).

Таблица 1.2 — Температурный режим переработки полимеров

Полимер	Показатель текучести, г/10мин	Температура, °С		
		зона загрузки	зона плавления	головка
ПЭНП	7,0 – 9,0	90 – 110	120 – 180	120 – 130
-''-	2,0 – 1,0	110 – 120	170 – 180	140 – 160
-''-	0,6 – 0,3	120 – 130	170 – 180	190 – 200

После прохождения формующей фильеры расплав полимера необходимо охладить на 20-90 °С ниже температуры размягчения, для того, чтобы в дальнейшем изделие не деформировалось.

Охлаждение может осуществляться воздухом (принудительный расчет конвективного теплообмена), водой, распыленной водой, холодной поверхностью металлических валков или калибрующих устройств или их комбинаций.

Время охлаждения ($t_{охл}$) определяется скоростью отвода экструдата.

Скорость отвода листа или пленки находится с учетом времени охлаждения. Время охлаждения находится по уравнениям теплопередачи в нестационарных условиях и будет равно:

$$v_3 = l / t_{охл} = a l / F_o \cdot \delta^2,$$

где δ – толщина листа (полотна); a – коэффициент температуропроводности; F_o – критерий Фурье, $F_o = at / \delta^2$;

v_3 – скорость экструзии; l_{ox} – путь движения экструдата при охлаждении.

Для определения критерия Фурье при охлаждении экструдата воздухом используем графическую зависимость при рассчитанной величине отношения разности температур θ и критерия Био (рис. 1.8). Безразмерная величина отношения разности температур равна:

$$\theta = (T_t - T_6) / (T_p - T_6),$$

где T_t – значение температуры расплава после охлаждения, $T_t = T_T - 50$ (T_T – температура текучести); T_6 – температура воздуха при обдувании; T_p – температура расплава при экструзии.

Критерий Bi_0 находится по уравнению:

$$Bi_0 = \alpha \delta / \lambda_p,$$

где λ_p – теплопроводность расплава полимера; δ – толщина листа или ленты; α – коэффициент теплопередачи при обдуве воздухом.

Коэффициент α находится из значения критерия Нуссельта. Между скоростью воздуха при обдуве и коэффициентом теплопередачи существует следующая зависимость: $\alpha_z = 3,3 \cdot v_0^{1,5}$. Скорость воздуха v_0 с изменением расстояния до экструдата (координата z) уменьшается, поэтому можно использовать эмпирическое уравнение:

$$\alpha_z = 3,3 \cdot v_{\max} \cdot z^{-1,11},$$

где z – расстояние от обдувочной щели до расплава;

v_{\max} – максимальная скорость струи воздуха на выходе из щели.

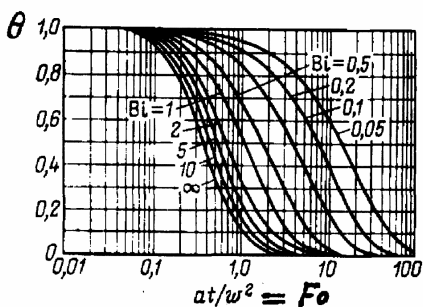


Рисунок 1.8 — Номограмма для расчета критерия Фурье (времени охлаждения) заданной безразмерной величиной θ при нестационарной теплопередаче через пластину при различных значениях критерия Bi ;

При охлаждении расплава валками критерий $Bi_0 = \infty$, поэтому коэффициент теплопроводности не рассчитывается, а вместо температуры воздуха при расчете θ подставляется температура охлаждаемого вала, после чего находится критерий Фурье.

Скорость охлаждения влияет на степень кристалличности полимера или остаточную степень ориентации макромолекул и может изменяться от температуры охлаждающих валков или от температуры воздуха при обдуве.

Скорость вращения шнека обеспечивает заданную производительность экструдера, которая зависит от поперечного сечения полотна (изделия) и скорости отвода v .

$$Q = \rho_0 F_{np} v,$$

где Q – производительность, ρ_0 – плотность полимера при 20°C , F_{np} – площадь поперечного сечения листа, пленки или профиля.

Скорость вращения предварительно может быть найдена из рабочей характеристики экструдера с учетом потерь давления в головке. Окончательно скорость вращения находится в процессе лабораторной работы.

Полученные данные заносятся в карту технологического процесса экструзии (рис.1.9). Карта технологического процесса должна отражать характеристику материала, готового изделия, оборудования, параметры технологического процесса, включая режимы приема готовой продукции. Карта технологического процесса разрабатывается под руководством технолога производства и находится на рабочем месте. Образец карты представлен на рисунке 1.9.

Полученные при расчетах или выбранные по справочникам данные технологических параметров заносятся в технологическую карту. По этим данным получают готовые изделия.

Порядок проведения работы

Перед проведением работы необходимо сдать зачет по технике безопасности и охране труда при работе и произвести расчеты технологических параметров процесса.

Далее:

- Измеряют глубину формирующего зазора головки.
- Включают обогрев цилиндра экструдера и головки и задают необходимую температуру.
- После достижения заданных температур в цилиндре и головке включают вращение шнека на минимальных оборотах и малыми порциями засыпают гранулы в бункер, пока расплав не появится на выходе из головки. После этого гранулы полностью насыпают в бункер и начинают процесс.
- Отдельные партии полотна помечают (маркируют) и отрезают от общего экструдата. Для испытаний отбирают образцы, изготовленные только при установившемся режиме экструзии.
- По окончании работы горловину бункера экструдера перекрывают, исключая подачу гранул в цилиндр, оставшийся полимер за счёт вращения шнека выдавливают из каналов шнека и цилиндра, а установку выключают.