

Packaging

Научно-публицистический журнал для специалистов
упаковочной отрасли и потребителей упаковки



№ 2 (16), АПРЕЛЬ 2008

УПАКОВКА

ИССЛЕДОВАНИЯ

РАЗВИТИЕ



PACKSIM, ОТКРОЙСЯ!

МИРОВОЙ ТОП-МЕНЕДЖМЕНТ О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

ТАНЕЦ ДЖИТТЕРБАГ

Бучельникова Я.В., Коваленко М.В.
Санкт-Петербургский государственный
технологический университет растительных
полимеров

МЕТОДИКА АНАЛИЗА И ВЫБОРА СТРЕТЧ-ПЛЕНКИ

METHODS OF ANALYSIS AND CHOICE OF STRETCH FILM

Buchelnikova Ja., Kovalenko M.
Saint-Petersburg state technology university
of plant polymers

The article deals with the complex analysis of the influence of production parameters on the main characteristics of extrusive stretch film and with its properties and methods of measuring in compliance with the normative documentation. Besides, the article contains the analysis of the four experimental samples and the practical summary concerning their production use.

В статье рассмотрен комплексный анализ влияния параметров производства на основные свойства поливной стретч-пленки, даны ее характеристики и методы измерения в соответствии с нормативной документацией. Кроме того, проведен наглядный анализ четырех опытных образцов и сделаны практические выводы относительно их использования на производстве.

По данным одного из крупнейших мировых поставщиков стретч-пленок (рис. 1) — компании MDA — наиболее популярным у производителей является поливной способ производства стретч-пленок. На долю поливной пленки приходится до 70% (2,55 млн тонн) от совокупного объема производства. Соответственно доля выдувной пленки составляет 30%.

Эти данные объясняются, прежде всего, отличием пленки

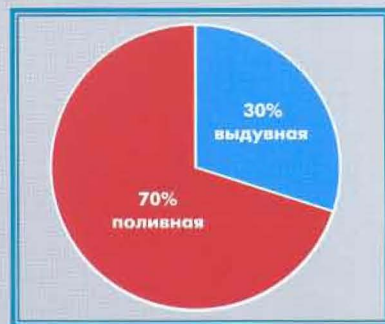


Рис. 1. Сегментация мирового рынка паллетной стретч-пленки в зависимости от способа производства

в качественных показателях. У поливной пленки они выше. (см. №1, 2008, стр. 45 Packaging R&D). Поэтому влияние параметров производства будем рассматривать на примере пленки, полученной поливным способом.

В табл. 1 представлено влияние составляющих технологического процесса на основные свойства пленки. Рассмотрение параметров будет строиться по принципу иерархического построения задач на предприятии.

Таблица 1. Комплексный анализ влияния параметров производства на основные свойства пленки

Параметр производства	Оценка влияния и свойство, на которое оказывается воздействие	Примечание/Механизм влияния
А. Структурные особенности полимерного сырья (ПЭ), используемого на производстве		
1. Плотность полимера	Влияет на глянец и прочностные показатели пленки. При увеличении плотности полимера растет его жесткость	Небольшое увеличение плотности полимера способствует более упорядоченной структуре. Прочность при растяжении пленки, как считается, зависит в основном от индекса расплава, но кажущаяся хрупкость определяется преимущественно плотностью полимера: чем выше плотность, тем более хрупка пленка.
2. Кристалличность полимера	Вызывает мутность пленки	В принципе, плотность можно считать как меру кристалличности ПЭ. Мутность ПЭ связана с природой полимера (с надмолекулярной структурой), однако ударное охлаждение может дать почти прозрачную пленку (см. п. 85)
3. Индекс расплава	С уменьшением ИР увеличивается прочность при растяжении, прочность на разрыв, термостойкость и ударная прочность, но затрудняются условия переработки	На все перечисленные свойства оказывает влияние молекулярная масса полимера. С ее увеличением соответственно увеличивается длина молекулярной цепи, приводящая в случае линейности (имеется в виду либо линейная структура, либо, если это ПЭНП, то сокристаллизованные ответвления полимера на стадии передачи цепи) к более упорядоченной надмолекулярной структуре.
Б. Производственные факторы, непосредственно влияющие на свойства пленки К ним относятся параметры, которые можно регулировать на машине. Изменить параметры можно путем установления на компьютере, соединенного с машиной, новых значений протекающего процесса.		
1. Составление композиции готовой пленки с подбором процентного соотношения полимеров по слоям пленки	От данного этапа производства зависят практически все свойства готового материала, особенно прочностные	Примечание: правильно составить композицию пленки относительно требуемых эксплуатационных свойств возможно, лишь проведя ряд экспериментов, тем самым обеспечив лабораторию данными, необходимыми для дальнейшего проведения процесса. При налаженном производстве технолог использует информацию предыдущих опытов: рецепты и компьютерные данные, снятые в режиме производства, с наилучшими качественными показателями свойств пленки. В зависимости от композиции и плотности сырья ПЭ, использованного на каждом слое, будет зависеть температура переработки, а также оптические свойства материала и ударная прочность.
2. Точность дозирования гранулы на стадии подачи ее в экструдеры	В зависимости от соотношения компонентов слоев изменяются свойства пленки, особенно прочностные	В случае отклонения весовых долей по слоям от заданного значения возникает дисбаланс всего технологического процесса
3. Зональная температура перерабатываемого материала в экструдере, конструктивные особенности экструдеров	Повышение температуры перерабатываемого материала ведет к увеличению глянца и снижению мутности. С ростом температуры ударная прочность растет, но при этом снижается прочность при растяжении в продольном направлении. Повышение температуры расплава снижает тенденцию к «сморщиванию» (см. п. 105)	По мере того, как расплав становится более горячим и текучим, молекулы получают больше времени для распрямления и в результате получается гладкая пленка с хорошим блеском и низкой мутностью. Понятно, что чем длиннее экструдер, тем более полно происходит гомогенизация расплава и переход его в вязкотекучее состояние, но нельзя забывать и об опасности термической деструкции при несоблюдении температурных режимов. Хотя для ПЭ данное явление мало вероятно, но в отдельных микрообъемах полимера возможна реализация любых деструктивных процессов. Повышение ударной прочности связано с тем, что достигается лучший баланс ориентации в обоих направлениях. ЛПЭНП проявляет более сильную тенденцию к ориентации, чем ПЭНП, и ориентируется в большей степени в продольном, а не поперечном направлении, то есть дает расщепление.

4. Рабочие характеристики фильтра	В случае засорения фильтра ухудшаются оптические и прочностные свойства материала, а также внешний вид пленки	Пропускание «кусочков» скоагулированного полимера нарушает целостность структуры пленки, тем самым создает опасность засорения плоскощелевой головки и обрыва пленки
5. Работоспособность блока соэкструзии	В принципе, как и в вышеперечисленных пунктах, данная составляющая процесса определяет структурные особенности пленки. Особенно важно на данном этапе построения параметрических составляющих процесса правильно задать скорость и температуру соэкструзии	
6. Температура и величина зазора в плоскощелевой головке	Хотя и нет непосредственной зависимости толщины пленки от щелевого зазора головки, но, как правило, малые калибры требуют малых зазоров, и наоборот. Температура головки влияет на степень однородности пленки и скорость вытекания ее на поливной барабан	Для изготовления пленки толщиной 25-27 мкм ширина зазора должна быть около 0,5 мм. Обычно одна из губок головки регулируется винтами, поэтому зазор можно менять. Температура головки и полимера в канале головки достигает 300°C. Важно поддерживать однородность температуры расплава. Головка всегда имеет несколько зон нагрева. Для сведения к минимуму вариации температуры и флуктуации качества пленки температура вдоль головки должна выдерживаться в жестких пределах с точностью до 1°C
7. Скорость движения пленки и охлаждения пленки на валах	Увеличение скорости пленки ведет к ухудшению оптических свойств — усилению мутности и снижению глянца. Происходят изменения мутности материала	Снижается тенденция молекул к ориентации, и канцы молекул полимера, выступая наружу, создают неровную поверхность. Чем быстрее охлаждается пленка на пути от головки экструдера до линии кристаллизации, тем меньше мутность, связанная с кристаллизацией, и тем больше мутность из-за неоднородности потока
8. Температура поливного барабана и охлаждающих валков	Снижение температуры охлаждающего вала повышает одновременно прозрачность и глянец пленок из ПЭВП. С падением температуры охлаждающих валков ударная прочность возрастает. Уменьшение температуры охлаждающего вала способствует «сморщиванию» (см. п. 10Б)	Это явление опять же связано с реализацией процесса кристаллизации, заключающегося здесь в том, что снижается вероятность образования излишне крупносфералитной структуры проявления. А также исключается проявление флуктуации поверхностной структуры пленки
9. Установление расстояния вытяжки	На прочностные и оптические свойства пленки (опять же из-за кристаллизации) оказывает влияние расстояние между экструзионной головкой и охлаждающим валком. Оптимальное для получения хорошей пленки расстояние вытяжки зависит от размера оборудования и производительности, поэтому его нужно определять экспериментально. Как правило, оптимальное расстояние может варьироваться от 1 - 2 дюймов (2,54 - 5,08 см) на лабораторном оборудовании до 12 дюймов и более (30,48 см) в условиях реального производства	
10. Установление линии кристаллизации на поливном барабане	Увеличение высоты линии кристаллизации приводит к увеличению глянца и снижению мутности. «Сморщивание»	Это связано с тем, что положение концов молекул изменяется по мере варьирования данного технологического параметра. До определенной величины молекулы ПЭ ориентируются, и исключается вероятность создания неровности поверхностного рельефа. Однако при превышении этой точки глянец уменьшается, а мутность соответственно увеличивается. «Сморщивание» вызывается неровностью линии кристаллизации на поливном барабане, что влечет вариации плотности в продольном направлении. Подобные различия плотности вызывают изменения длины, которые проявляются в виде небольших вздутий или складок. Повышение температуры расплава снижает тенденцию к «сморщиванию», тогда как уменьшение температуры охлаждающего вала способствует ей.
11. Точность позиционирования и установки толщиномеров на линии	Основная функция толщиномеров понятна — это измерение толщины вырабатываемой пленки по всей ее ширине. Ведь при разнотолщинности пленки в последующем возникает ряд неприятностей, приводящих даже к отбраковыванию целых партий, так как донная пленка не будет отвечать предъявленным ей требованиям качества. Наличие автоматизированной системы на производстве практически исключает вероятность такого развития событий. Это связано с тем, что толщиномер выдает в режиме on-line значение толщины, и при отклонениях, даже малейших, включается сигнализация и осуществляется перерегулировка оборудования, отвечающего за данный показатель, а именно, скорость движения пленки и зазор в плоскощелевой головке	
12. Система шнжирования, намоточная станция, утилизатор кромок	Обеспечивает равномерную динамику процесса намотки пленки на шпули за счет микроперемещений пленки по эксцентриситету балки, тем самым создавая на боковых срезах ролла идеально ровную поверхность, что говорит о высоком качестве системы	

В. Косвенные производственные факторы	
1. Дисциплина рабочего персонала	В функции производственного персонала входит контролирование параметров технологического процесса, снятие роллов с приемной площадки. Также персоналом осуществляется первичный контроль качественных показателей путем контрольного взвешивания (установлена нормативная величина веса рулона трехслойной пленки). На полимерном производстве важно поддержание чистоты из-за накопления статического электричества и прилипания кусочков пыли на оборудование, а в последующем возможен перенос на саму продукцию, что приведет к ухудшению качества пленки.
2. Поддержание чистоты на территории работы линии	
3. Профессиональное знание оборудования	
4. Налаженная работа технического и научного персонала	
5. Знание мер безопасности проведения работ, как технических, так и ремонтных	

Определяемые на предприятиях характеристики стретч-пленки представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики стретч-пленки по нормативной документации

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Методы испытания, обозначение и номер нормативного документа	№ НД по ASTM	Значение
1	Толщина	мкм	ГОСТ 17035	D618-61	17 ± 2,0
2	Ширина намотки пленки	мм	ГОСТ 427	D618-61	(500 + 1500) ± 1,0%
3	Прочность при растяжении: • в продольном направлении • в поперечном направлении	МПа (кгс/мм²)	ГОСТ 14236	D882-02	40 (392)
					24 (235)
4	Относительное удлинение при разрыве: • в продольном направлении • в поперечном направлении	%	ГОСТ 14236	D1790-02	300
					600
5	Смоадгезия	кПа	—	D3354	30
6	Стойкость к проколу	Н	ГОСТ 12. 4. 118	D2582-93	45
7	Упругое восстановление	%	—	—	50

Пункты 1 и 2 в табл. 2 считаются номинальными, так как по согласованию с заказчиком допускается изготавливать пленку другой толщины, ширины и длины.

Для реалистичности изложения материала были отобраны четыре образца пленки различных производителей, исследованы в лаборатории, одновременно проводилось сопоставление исследуе-

мых образцов между собой с целью выявления недостатков с точки зрения технологического процесса.

Принят следующий алгоритм анализа свойств стретч-пленки:

- Получение экспериментальных данных
- Сортировка данных по убыванию показателей каждого образца.
- Определение % превышения

наименьшего допустимого значения (для наглядности в виде полотна пленки с распределением направлений и позиционированием каждого полученного показателя).

- Аргументация большего или меньшего значения показателя.
- Определение связи с технологическими параметрами

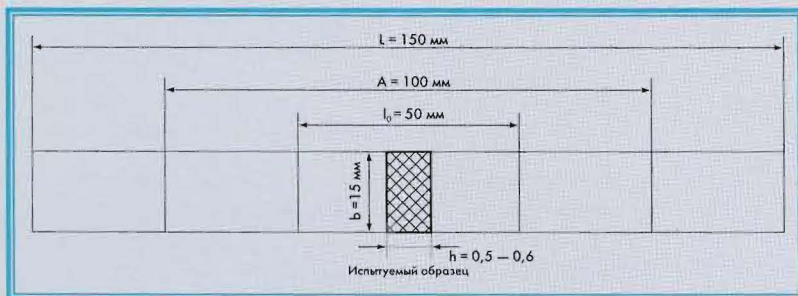


Рис. 4. Результаты определения ширины намотки пленки и сортировка % отклонения

и определение влияния данного показателя на другие свойства.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПЛЕНКИ

Измерения средней толщины пленки осуществляются непосредственно и никаких трудностей не представляют. Точное измерение толщины пленки имеет большое значение, поскольку некоторые свойства, такие как прочность при растяжении, предельное растяжение при разрыве, ударная прочность и стойкость к распространению трещин сильно зависят от толщины образца. Обычно толщина пленки составляет несколько десятков микрон. Толщину пленки измеряют микрометром.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ НАМОТКИ ПЛЕНКИ

Ширину пленки измеряют металлической линейкой или металлической рулеткой по ГОСТ 7502.

ГОСТ 427 распространяется на измерительные металлические линейки с пределами измерений до 3000 мм, с ценой деления 1 мм.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ И ОТНОСИТЕЛЬНОГО УДЛИНЕНИЯ

Прочность и относительное удлинение пленки при разрыве определяют по ГОСТ 14236 на 5 образцах.

ГОСТ 14236 распространяется на полимерные пленки и пленочные материалы толщиной до 1 мм и устанавливает метод испытания на растяжение.

Метод основан на растяжении испытуемого образца с определенной скоростью деформирования для определения показателей прочности при растяжении и значения относительного удлинения.

Настоящий стандарт не распространяется на пленки, изготов-

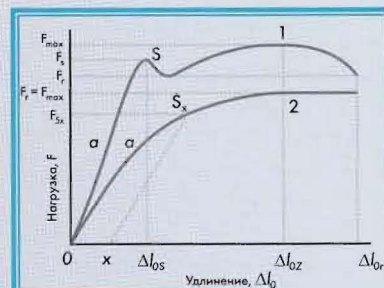


Рис. 4. Схематическое изображение кривых «нагрузка — удлинение» для материалов:
1 — материал имеет предел текучести;
2 — материал не имеет предела текучести;
а — участки прямолинейного направления кривой в начале кривой «нагрузка — удлинение»;
 S — предел текучести;
 S_s — условный предел текучести. Допускается вычисление значения удлинения образца по измерению расстояния между зажимами.

ленные из армированных материалов или имеющие неровную поверхность. В качестве лабораторного оборудования применяется разрывная машина.

Экспериментальные значения обработаны и приведены в табл. 3 в соответствии с ГОСТ 14236, содержащем следующую методику и терминологию (выдержка из ГОСТа).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ САМОАДГЕЗИИ

Величина самоадгезии определяется с помощью любой разрывной машины и специального приспособления, представляю-

Рис. 5. Установка для определения величины самоадгезии

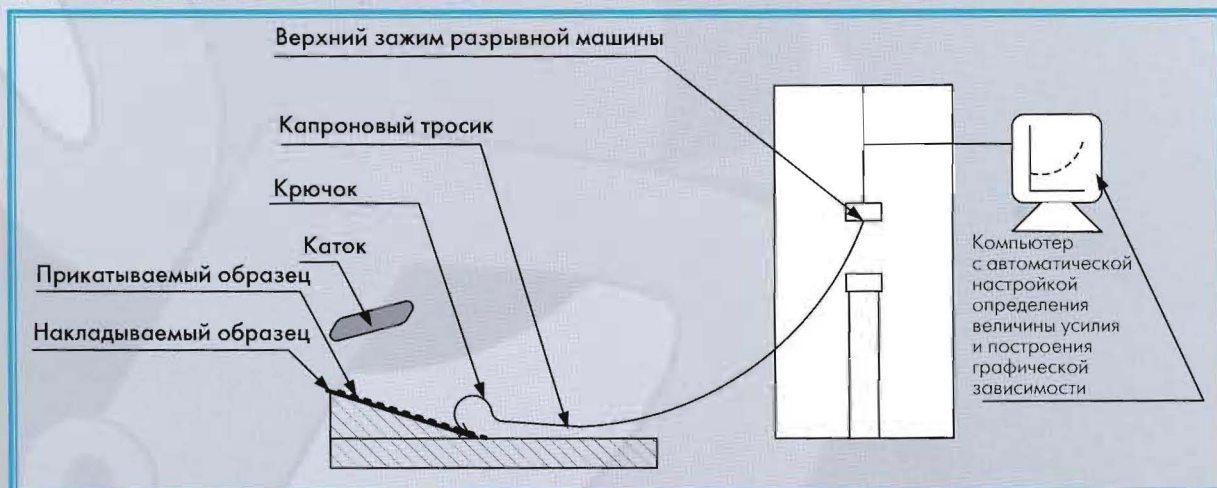


Таблица 3. Термины и определения

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Определение
Толщина образца	d	мм	Среднее арифметическое не менее трех измерений в пределах расчетной длины l_0 образца перед испытанием
Ширина образца	b	мм	Среднее арифметическое не менее трех измерений в пределах расчетной длины l_0 образца перед испытанием
Начальное поперечное сечение	A_0	мм ²	Произведение толщины d на ширину b
Растягивающая нагрузка	F	Н	Нагрузка, действующая на образец в каждый момент испытания
Удлинение	Δl_0	мм	Измеренное изменение расчетной длины l_0 образца в каждый момент испытания
Предел текучести	S	—	Точка кривой «нагрузка — удлинение», в которой происходит первое увеличение деформации образца без увеличения растягивающей нагрузки
Предел текучести	S_x	—	Определяют в тех случаях, когда испытуемый материал не имеет предела текучести. S_x определяют графически в точке пересечения кривой «нагрузка — удлинение» с прямой, проведенной параллельно прямолинейному начальному участку кривой «нагрузка — удлинение» и отсекающей от оси абсцисс участок удлинения, отвечающий относительному удлинению, например 1%
Прочность при растяжении	σ_z	МПа (Н/мм ²)	Максимальная растягивающая нагрузка F_{max} при испытании на растяжение, отнесенная к площади первоначального поперечного сечения A_0 образца
Прочность при разрыве	σ_r	МПа (Н/мм ²)	Растягивающая нагрузка F_r , при которой разрушился образец, отнесенная к площади первоначального поперечного сечения A_0 образца
Предел текучести	σ_s	МПа (Н/мм ²)	Растягивающая нагрузка F_s у предела текучести S , отнесенная к площади первоначального сечения A_0 образца
Условный предел текучести	σ_s	МПа (Н/мм ²)	Растягивающая нагрузка F_{sx} у условного предела текучести S_x , отнесенная к площади первоначального поперечного сечения A_0 образца
Относительное удлинение при максимальной нагрузке	ϵ_x	%	Изменение расчетной длины Δl_{0x} в момент достижения максимальной нагрузки F_{max} , отнесенное к начальной расчетной длине A_0 образца при испытании на растяжение
Относительное удлинение при разрыве	ϵ_r	—	Изменение расчетной длины Δl_{0r} в момент разрыва, отнесенное к начальной расчетной длине l_0 образца при испытании на растяжение
Относительное удлинение при пределе текучести	ϵ_r	—	Изменение расчетной длины Δl_{0s} в момент достижения предела текучести S , отнесенное к начальной расчетной длине A_0 образца при испытании на растяжение

щего собой подиум с наклонной поверхностью, на которую помещаются образцы пленки и прикапываются металлическим роликом. Как правило, количество ходов катком ограничивают до 5 двойных ходов. Сообщение разрывной машины и подложки обес-

печивается за счет витой капроновой нити и крючка. В свою очередь, нить зажимается в верхнем зажиме разрывной машины, а крючком захватывается прикапанный верхний образец пленки. Таким образом, определяют нагрузку (кПа), необходимую для

разделения слипшихся образцов. Эксперимент проводят 5–6 раз с допуском на отклонение, за результат принимают среднее арифметическое 5 параллельных измерений.

Описанный способ не декларирован на территории России

и осуществляется на основании технических условий, прописанных на предприятии.

Стандартный метод испытаний ASTM¹ D3354 моделирует операцию по разделению пленок, характерную для некоторых конечных приложений. Нагрузка (в граммах), необходимая для разделения слипшихся образцов (пять групп образцов, вырезанных размером 100 x 180 мм), измеряется балансирной системой (подобной аналитическим весам). Испытание заключается в следующем: один лист слипшегося образца закрепляется на алюминиевом блоке, подвешенном на конце балансирной балки; другой конец закрепляется на алюминиевом блоке, прикрепленном к основанию весов. Затем с другой стороны балансира добавляется груз, эквивалентный 90 ± 10 г/м, пока пленки полностью не разделятся (или пока между ними не возникнет зазор 1,9 см). Адгезия между пленками выражается в граммах; испытание ограничено грузом 200 г.

В данном случае использована установка с применением разрывной машины.

Определение величины самоадгезии осуществляется по формуле:

$$\text{Самоадгезия, кПа} = \frac{\text{Нагрузка, Н}}{A_0}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СТОЙКОСТИ К ПРОКОЛУ

ГОСТ 12.4.118 устанавливает метод определения стойкости к проколу пленочных полимерных материалов, искусственных кож и изделий из них, применяемых для средств защиты рук, по показателю величины силы прокола.

Сущность метода заключается в определении величины силы прокола при постоянной скорости перемещения индентора.

В данном случае представлена новая установка по определению стойкости к проколу, имеющая принцип действия на молекулярном уровне, аналогичный изложенному в ГОСТе, но с современным оснащением.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Упругое восстановление пленки определяют на разрывной машине любого типа. Испытания проводят на 3 образцах, вырезанных в продольном направлении, имеющих форму прямоугольных полосок шириной $(10 \pm 0,2)$ мм. и длиной не менее 150 мм.

Образцы вырезают любым режущим инструментом, обеспечивающим получение прямых параллельных сторон. Края образцов должны быть ровными, гладкими,

без зазубрин и других видимых дефектов. На образцах фломастером или маркером отмечают рабочий участок размером 50 ± 1 мм.

Образец заправляют в зажимы разрывной машины таким образом, чтобы он не провисал и не был под напряжением.

Образец растягивают между зажимами разрывной машины со скоростью 100 ± 10 мм/мин до длины рабочего участка 100 мм. В этом состоянии образец выдерживают 1 минуту, после чего снижают нагрузку разрывной машины до нуля, вынимают образец из зажимов и укладывают на чистый лист бумаги. Через полчаса измеряют длину рабочего участка L .

Упругое восстановление (λ , %) определяют по формуле:

$$\lambda = \frac{100 - L}{50} \cdot 100,$$

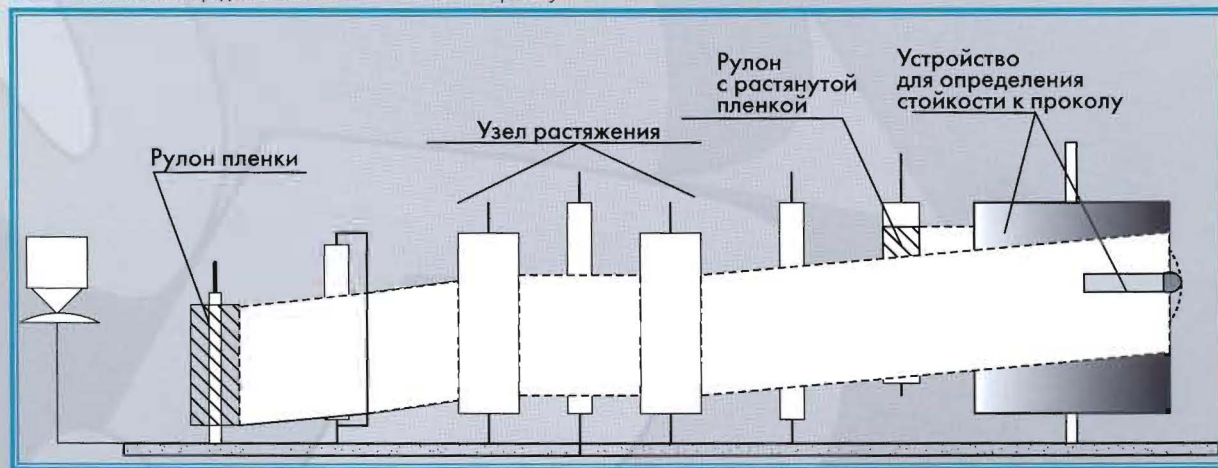
где L — длина рабочего участка через полчаса после снятия нагрузки, мм.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое из 3 параллельных измерений.

За результат испытаний партии принимают минимальное значение испытаний отдельных рулонов.

По результатам статистической оценки всех значений полученных в результате эксперимента и приведенных в таблице 4, можно

Рис. 7. Установка по определению величины стойкости к проколу



¹ Американское общество по испытаниям и материалов.

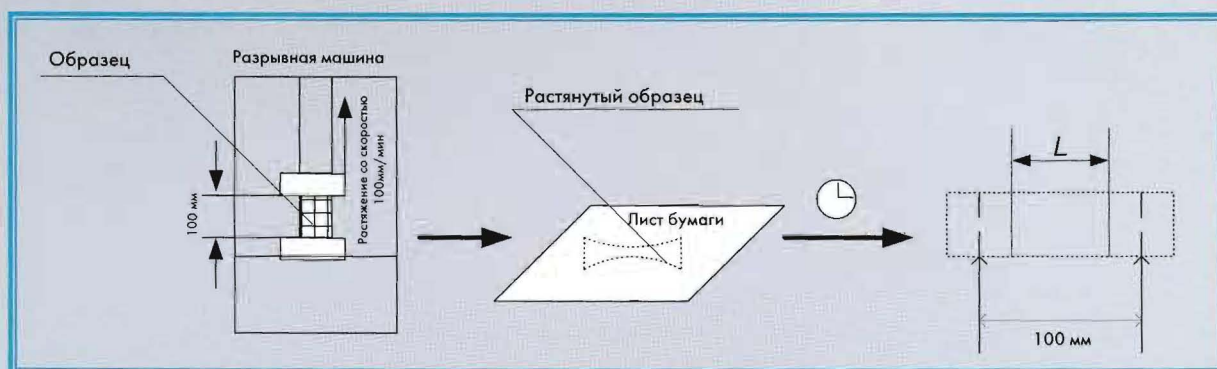


Рис. 7. Стадии определения упругого восстановления

сказать, что наилучшие показатели качества продукции имеет образец под №3. Это следует из результатов исследования свойств пленок, распределения их по шкале отклонения от минимально допустимой величины и определения суммы всех отклонений по каждому образцу. Следует помнить, о вкладе каждого показателя в полученную сумму. Так, в процессе подсчета образец №2 при измерении прочности при растяжении поте-

рял значительную долю очков, которые он набрал в начале «соревнований», набранные баллы были получены им на показателях толщины и ширины ролла намотанной пленки. Понятно, что ширина пленки не оказывает прямого воздействия на свойства пленки, а только в будущем определяет, какую высоту зажимов поставит рабочий при установке ролла в паллетайзер, а вот от толщины зависят многие свойства, в том числе и область

применения стретч-пленки. Будет эта пленка использована для ручной намотки, машинной или только для единичной упаковки продуктов питания. Для исследования были подобраны образцы из секции «как бы» машинного применения. Однако в результате эксперимента обнаружено, что более всего приближен к этой области применения образец под №3, и с наименьшей степенью уверенности можно предложить для автомати-

Таблица 4. Результаты исследования свойств пленок

Образец	Значения показателя / % отклонения от эталонного значения			
Показатели	1	2	3	4
Толщина пленки, мкм (min = 16, max = 19)	17 / +6,25	16,96 / +6	17,49 / +9,3	17 / +6,25
Ширина намотки пленки, мкм, (min = 445,5, max = 505)	500 / +12,2	500 / +12,2	500 / +12,2	500 / +12,2
Прочность при растяжении				
Продольное, МПа (min = 40)	58,31 / +45,7	40,27 / +0,6	42,14 / +5,35	47,04 / +17,6
Поперечное, МПа (min = 24)	27,44 / +14,3	19,992 / -16,7	24,108 / +0,45	24,5 / +2
Относительное удлинение				
Продольное, % (min = 300)	426 / +42	568 / +89,3	605 / +101	582 / +94
поперечное, % (min = 600)	841 / +40,1	815 / +35,8	789 / +31,5	815 / +35,8
Самоадгезия, кПа (min = 30)	39,0 / +30	36,0 / +20	36,8 / +22,6	33,8 / +12,6
Стойкость к проколу, Н (min = 45)	47,9 / +6,4	47 / +4,4	52,14 / +15,8	47,08 / +4,6
Упругое восстановление, % (min = 50)	55,94 / +11,8	72 / +44	83,88 / +67,7	80 / +60

ческой работы образец №2, толщина которого граничит почти с минимальным значением. Образцы под №№1 и 4 имеют средние показатели и в принципе вписываются в рамки рассматриваемого вопроса. Следовательно, если машина будет упаковывать на высокой скорости, то образец №3 выдержит эксплуатацию (такой вывод сделан на основании всего комплекса свойств), №2 скорее всего не обеспечит требуемого уровня упаковки, образцы №1, №4 скорее всего тоже выдержат, последующий анализ свойств даст нам о них более полную информацию для принятия окончательного решения.

Стретч-пленка не будет stretch (растягивающейся и восстанавливающейся), если не будет иметь высоких показателей при растяжении и восстановлении первоначальных размеров. Показатель относительного удлинения при разрыве определяет процент растяжения пленки до разрыва. Показатель прочности при разрыве показывает максимальную нагрузку, выдерживаемую материалом до разрыва. Показатель упругого восстановления является определяющим для устойчивости упакованной продукции. Благодаря предварительному растяжению пленки перед обмоткой паллеты, за счет стремления пленки вернуться в исходное состояние, возникает «удерживающая» сила, которая обеспечивает устойчивое скрепление груза в процессе транспортировки и погрузочно-разгрузочных работ.

Наличие наибольшего показателя прочности при растяжении говорит, во-первых, о сбалансированности ориентации в продольном и поперечном направлении, во-вторых, о верно выбранной пропорции плотностей композита, в-третьих, о правильно подобранном индексе расплава всей композиции. Максимальный результат по определению прочности при растя-

жении показал образец под №1, в продольном направлении. Наименьшее значение показателя отмечается у образца №2, возможно при экструзии была превышена температура расплава, или температура охлаждающих валков была недостаточная, что привело к увеличению ударной прочности и, соответственно, снижению прочности при растяжении. Показатель относительного удлинения, напротив, определяет структуру как менее организованную, с меньшей плотностью и большей эластичностью макромолекул, проявляющейся в наличии большего свободного объема. Данное утверждение и подтверждается результатами эксперимента, образец под №1 имеет наименьшее значение показателя относительного удлинения. И наоборот. Образцы, имеющие меньшее значение прочности при растяжении, обеспечивают большее относительное удлинение. Однако образец №1 в поперечном направлении растягивается больше всех, следовательно, несмотря на превосходство в прочности при растяжении и в продольном и поперечном направлении относительно других образцов, в структуре материала есть дисбаланс. Более организованную структуру с точки зрения стретч-пленки и пропорциональности рассматриваемых показателей имеет образец под №3, который в процессе упаковки и растянется лучше всех, так как паллетайзер растягивает пленку в продольном направлении, соответственно расход пленки будет меньше, и обеспечит прочность полученного «пакета». Монолитность структуры упаковочного материала, зависит также и от адгезии слоев, и стойкости к проколу, и упругого восстановления. Адгезия присуща всем стретч-пленкам, но от технологических параметров производства и специальных добавок зависит степень прилипания слоев друг к другу. На основании исследова-

ния установлено, что наибольшее усилие для отделения слоев необходимо приложить к образцу №1, немного меньше к образцам №2 и №3, и меньше всего к №4. Хотя излишняя адгезия тоже неблагоприятна при работе, она в первую очередь может вызывать сморщивание пленки до намотки на шпулю, а также работу с пленкой на упаковочном производстве, затрудняя отделение пленки от рулона, а недостаточная адгезия просто не обеспечит требуемого уровня упаковки.

В случае упаковки товара с острыми краями пленка должна быть стойкой к проколу, то есть иметь крупносферолитные образования и высокое значение показателя относительного удлинения, соотносимое с прочностью при растяжении. По результатам исследования наглядно прослеживается данная зависимость: образец №3, имеющий высокое относительное удлинение, среднее значение прочности при растяжении, более стоек к проколу, нежели образец №2 с разбалансированной организацией структуры.

Определено, что чем более организованная структура, тем больше плотность, больше прочность при растяжении, тем меньше величина упругого восстановления. Несмотря на различие показателей для образца №1 в продольном и поперечном направлениях, установлено, что восстановить свои первоначальные размеры он сможет лишь на 56%, в отличие от образца №3, восстановление которого почти в 1,5 раза превышает минимально допустимое значение.

Таким образом, теперь вы имеете полное представление по каждому образцу пленки и с точки зрения статистического анализа, то есть чисто на уровне математики, и с точки зрения физикохимии полимеров. Зная все свойства исследуемых образцов, можно систематизировать полученную информацию в единую табл. 5.

В результате аналитического обзора образцов и полученных рекомендаций по каждому материалу выявлено, что пленка №3 является наиболее подходящей для заявленной области применения.

Теперь Вы предупреждены, а значит и вооружены. Думаем, что теперь Вы сможете не только самостоятельно осуществить анализ стретч-пленки, но и на основании экспериментальных данных определить неполадки в про-

изводственном процессе анализируемого образца. Вы также сможете составить модель эксплуатации той или иной пленки на вашем производстве. Выберите то, что Вам действительно надо!



Таблица 5. Систематизация суждений по исследуемым образцам

№ образца	Показатель	Заключения
1	Толщина, ширина намотки	По толщине претензий нет, она соответствует норме. Хотя небольшое увеличение расширит диапазон применения данной пленки на автоматических машинах. Изменение толщины обеспечивает зазор щели в головке или снижение скорости поливного барабана.
	Прочность при растяжении Относительное удлинение при разрыве	Для снижения прочности при растяжении стоит снизить температуру экструзии, отрегулировать скорость поливного барабана, температуру охлаждающих валков, а также пересмотреть плотность компонентов на предмет снижения, тем самым снизить ударную прочность и увеличить относительное удлинение. Регулирование по части оборудования приведет к более организованной структуре.
	Самоадгезия	На уровне, необходимом для упаковки товара широкого спектра
	Стойкость к проколу	Достаточно для упаковки продуктов с острыми, но не колющими краями
	Упругое восстановление	Коррелируется с прочностью при растяжении, небольшое ее снижение обеспечит более эластичную структуру материала
2	Толщина, ширина намотки	Увеличение толщины необходимо для возможности применения пленки на автоматическом паллетайзере. Увеличить толщину можно путем увеличения зазора в плоскощелевой головке экструдера или путем снижения скорости экструзии. Улучшить качество намотки, проявляющееся в неровности торца, можно путем регулировки автоматической системы шанжирования.
	Прочность при растяжении Относительное удлинение при разрыве	Увеличить показатель прочности при растяжении в данном случае можно, изменив положение линии кристаллизации, отрегулировав температуру поливного барабана и охлаждающих валков, а также работу вакуумной системы. Данная операция приведет к балансу композиции пленки и технологических параметров. Причиной может быть чрезмерный % вторично переработанной пленки во внутреннем слое.
	Самоадгезия	Небольшое увеличение адгезии можно достигнуть изменением в большую сторону температуры поливного барабана или введением специальных добавок.
	Стойкость к проколу	На уровне упаковки продукта с острыми, но не режущими краями.
	Упругое восстановление	В специальной регулировке не нуждается, немного снизится из-за увеличения прочности при растяжении.
3	Толщина, ширина намотки	Приемлемо для упаковки на автоматических паллетайзерах
	Прочность при растяжении Относительное удлинение при разрыве	Соотношение прочности при растяжении и относительном удлинении пропорционально и отвечает требованиям упаковочного производства. Небольшого увеличения относительного удлинения при разрыве в поперечном направлении можно достичь за счет введения в композицию ПЭ с более высокой плотностью, что предотвратит расщепление.
	Самоадгезия	Достаточно для обеспечения создания монолитности структуры
	Стойкость к проколу	Возможно упаковка в данную пленку товаров с острыми, режущими и колющими краями
	Упругое восстановление	Обеспечит устойчивое положение товара на паллете за счет сминающих усилий
4	Толщина, ширина намотки	Соответствует нормативному значению, но увеличить стоит за счет увеличения зазора в плоскощелевой головке экструдера и/или изменения скорости экструзии.
	Прочность при растяжении Относительное удлинение при разрыве	Значения данных показателей находятся на среднем уровне и в принципе в регулировке не нуждаются
	Самоадгезия	Повышение значения самоадгезии обеспечивается за счет увеличения температуры поливного барабана и охлаждающих валков, регулировки вакуумной системы и/или введением специальных добавок, увеличивающих число полярных групп.
	Стойкость к проколу	Достаточно для упаковки продукта с колющими, но не режущими краями
	Упругое восстановление	В регулировке не нуждается, обеспечит необходимый уровень положения на паллете