

«Материаловедение в полиграфическом и упаковочном производстве»



Курс лекций для бакалавров направления
29.03.03

2017 г

Цель дисциплины:

1. Формирование у студентов **знаний о строении и свойствах полиграфических и упаковочных материалов,**
2. **о взаимосвязи между эксплуатационными свойствами, качеством и структурой материалов,**
3. **о тенденциях в области разработки новых материалов,** освещение вопросов экологии и ресурсосбережения,
4. а также **привитие навыков и умений** исследования, определения, испытания и **выбора данных материалов.**

Задачи дисциплины:

1. Информирование об **особенностях структуры, свойствах и разнообразии полимерных материалов,** применяемых в упаковке и полиграфии.
Формирование понимания взаимосвязи структуры полимеров с эксплуатационными свойствами.
2. Освещение **состава и свойств компонентов печатных красок, лаков, клеев** и сведений о применяемых растворителях и маслах.
3. Знакомство студентов с основными металлами и их **сплавами** и их использованием в полиграфии и упаковке.
4. Информация о материалах на основе **древесины, стекла** и текстиля, применяемых для производства тары и упаковки.

* Основные термины и определения, относящиеся к упаковочным материалам

Упаковка – средство или комплекс средств, который **обеспечивает** защиту продукции и **окружающей среды** от повреждений и потерь, а также **облегчает** транспортировку, хранение и реализацию продукции.

УПАКОВКА

Тара

открытый или замкнутый
полый корпус

Вспомогательные упаковочные средства

упупорочные средства (крышки,
пробки, прокладки), этикетки,
вкладыши, покрытия, стяжные и
липкие ленты, обертки, пленки,
решетки и др.



**Специалист
по упаковке
должен
знать**

Методы
проектирования,
дизайна и
конструирования

Химию и
химическое
оборудование и
технологии

Физику и суть
протекающих
процессов

Технологии упаковки

Свойства широкого
круга применяемых
материалов

Математику и
экономику

Основы
электроники

Упаковочный материал – это материал, предназначенный для изготовления тары и вспомогательных упаковочных средств

Функции упаковочных материалов

предохранение товара от внешних воздействий среды, а окружающей среды – от вредных воздействий товара

защита товара от влияния других товаров

сохранение количества и качества товаров на пути из сферы производства в сферу обращения

создание условий для механизации и автоматизации трудоемких процессов;

создание благоприятных условий для приемки товаров

носитель коммерческой информации и торговой рекламы

Требования к упаковочным материалам

1. Социальное : удовлетворение разных социальных слоев

2. Функциональное : защита товара от влаги, кислорода, тепла, света, механических воздействий и устойчивость к действию самого товара

3. Надежность: - сохранность функций и свойств в течение необходимого времени (**долговечность**)

4. Эстетика, дизайн: **выразительность, рациональность и сочетаемость графики** (цвет, рисунок поверхности) и **структуры** (форма, контуры) упаковки

5. Эргономика: удобство использования тары (гигиеничность, не раздражать психику, соответствие размерам и форме руки человека)

6. Экологичность и безопасность: отсутствие отрицательного действия на окружающую среду и на человека

7. Экономическая эффективность: **оптимальная** стоимость упаковки

Материалы для упаковки

Дерево
(ящики, бочки, корзины)

Картон
(картонная тарара)

Бумага
(мешки и пакеты)

Текстиль
(ткани и мешки)

Металлы
(бочки, барабаны, фляги, канистры и баллоны)

Стекло
(баллоны, бутылки, банки и флаконы)

Полимеры
(пакеты, бутылки, флаконы, тюбики, ампулы, канистры, пробирки, блистеры, укупорочные изделия)

Комбинированные

Инновационные

Тенденции в отрасли упаковочных материалов

1. **Большая доля** упаковки изготавливается из **полимерных материалов** (по разным источникам от 50 до 70%) вследствие *легкости, простоты, низкой энергоёмкости и многообразия методов переработки, красивого внешнего вида, хорошей окрашиваемости, прозрачности, эластичности, достаточной прочности* и др. достоинств этих материалов.
2. Но одними из самых *экономичных материалов* являются **бумага и картон**, которые всегда будут применяться для изготовления разнообразных *коробок*.
3. **Металлы** благодаря *высокой прочности, жесткости* и прекрасным *барьерным свойствам* незаменимы в упаковке пищевых продуктов длительного хранения (консервная тара) и в специальных видах упаковки.
4. **Стеклянные флаконы и бутылки** по-прежнему будут применяться для товара, упакованного *«богато и претенциозно»*.
5. Использование **древесины** в основном сохранится для производства *объемной тары для очень объемных и тяжелых изделий*.

Факторы, учитываемые при выборе упаковочного материала

Эксплуатационные возможности материала (прочность при растяжении, хрупкость, прозрачность, теплостойкость, степень вытяжки, коэффициенты пропускания паров воды, кислорода воздуха, деформируемость при транспортировке и др.)

Экономические (цена, доступность и обеспеченность сырьем, совокупные затраты на производство, рекламу, транспортировку, хранение, налоги)

Режимы переработки (термостойкость, сложность оборудования, потери, возможность вторичной переработки и др.)

Факторы, учитываемые и предъявляемые к упаковке на всех этапах цикла обращения

Разработка упаковки	Упаковывание	Транспортирование	Реализация	Потребление	Утилизация
Назначение продукции.	Технология изготовления тары и упаковки	Условия перевозки	Складское хозяйство	Потребительские свойства	Многократность использования
Свойства продукции	Технология упаковывания	Погрузочно-разгрузочные механизмы	Организация торговли	Способ потребления	Срок службы
Стоимость продукции	Упаковочные машины	Пакетирующие средства и контейнеры	Конъюнктура	Антропометрические и физиологические свойства	Технология утилизации
Норма потребления	Затраты труда, материалов и энергии	Транспортные средства	Информативность, реклама		Стоимость утилизации
Санитарно-гигиенические нормы	Характеристики упаковочного материала	Климатические условия при транспортировании ¹	Эстетичность, мода и стиль	Безопасность при пользовании	Малая масса и объем
Стандарты	Стоимость и доступность упаковочного материала	Защитные свойства	Соответствие способам торговли	Удобство использования	Отсутствие вредных выделений при разложении
Условия эксплуатации					Биоразлагаемость

***ВЫВОД:**

*** для грамотного выбора упаковочных материалов необходимы обширные сведения о природе, структуре и комплексе свойств**

*** рассматриваемых и отбираемых материалов**

ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

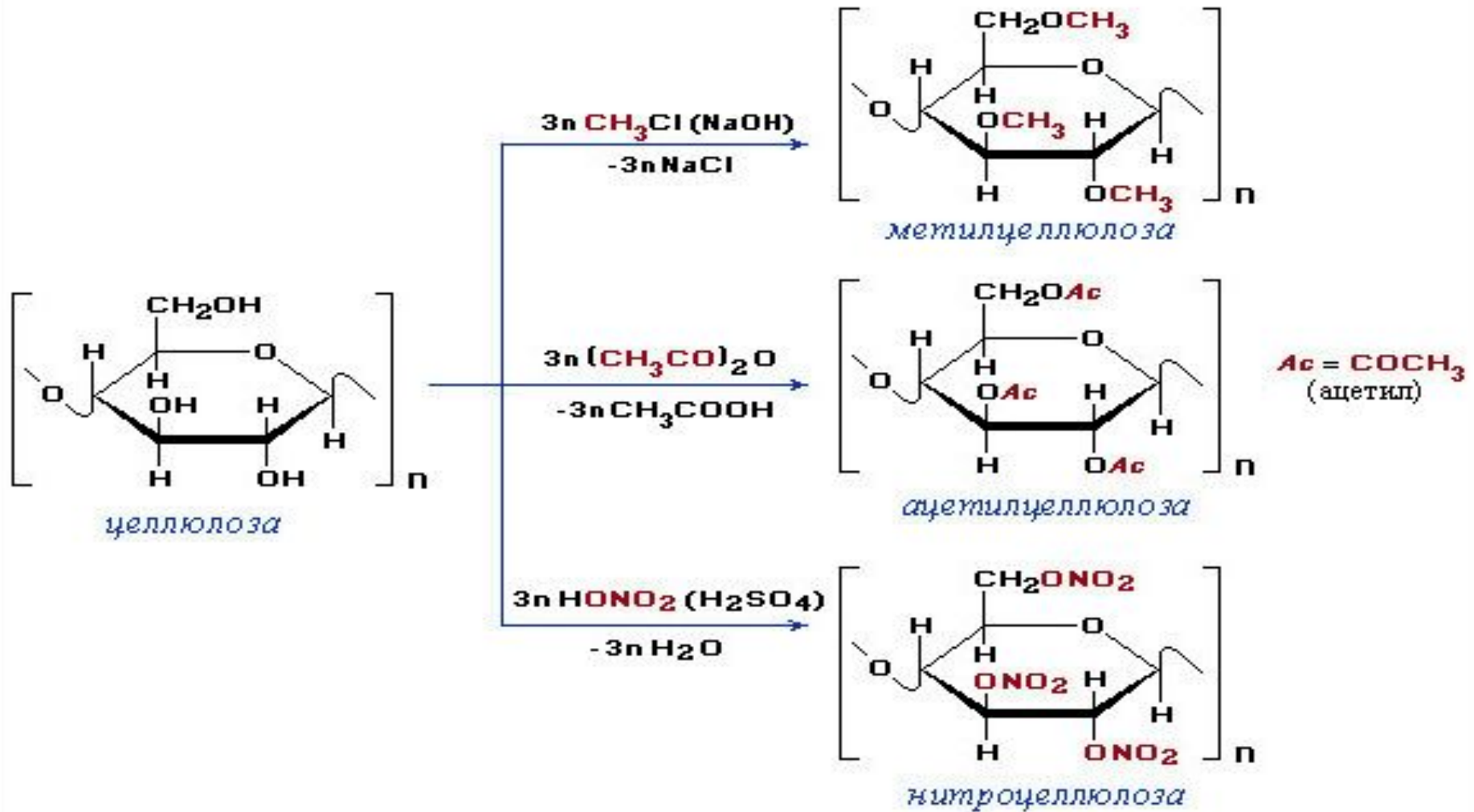
1. Химическая природа:

1. *Полиуглеводороды насыщенные* (алифатические полиалкены или иначе полиолефины - **ПЭ** и **ПП**, ароматические - **ПС**). *Эти полимеры химически стойки, являются хорошими диэлектриками, но имеют плохие адгезионные свойства .*
2. *Полиуглеводороды ненасыщенные* (диеновые или каучуки – **ПБ**, **ПИП**, **ПХП**). *Каучуки обладают высокой клейкостью, а резины на их основе - высокоэластичностью.*
3. *Полигалогенпроизводные* (**ПВХ**, поливинилиденхлорид **ПВДХ**, фторопласт **ФП** и др.). *Указанные полимеры химически стойкие, хорошие диэлектрики, не поддерживают пламенное горение и плохо склеиваются*

1. Химическая природа (продолжение):

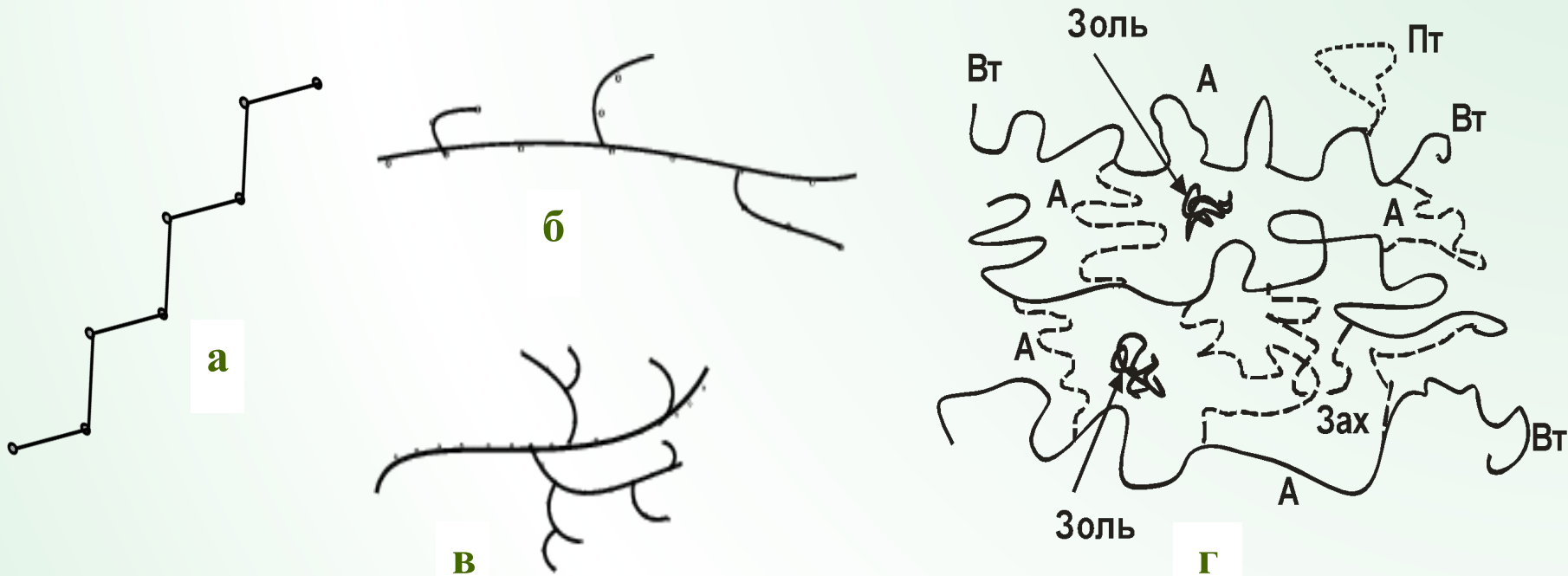
4. *Полиспирты (ПВС) и полиэферы на его основе (ПВА).*
5. *Поликислоты (ПАК и ПМАК) и полиэферы на их основе (ПМА и ПММА). Полиспирты, поликислоты, полиэферы **проявляют повышенные адгезионные свойства.***
6. *Полиэферы гетероцепные (ПЭТ, полиэфиракрилаты, полиэфирмалеинаты).*
7. *Полиамиды гетероцепные (ПА-6, ПА-66 и др.). Гетероцепные **полиэферы и полиамиды** склонны к **волокну- и пленкообразованию** и **обладают хорошими адгезионными свойствами.***

ПРОСТЫЕ И СЛОЖНЫЕ ЭФИРЫ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ



Обладают хорошими адгезионными свойствами, склонны к волокнообразованию, хорошо окрашиваются.

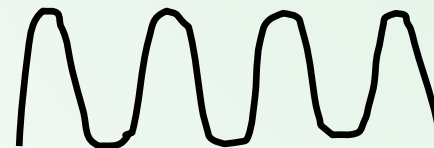
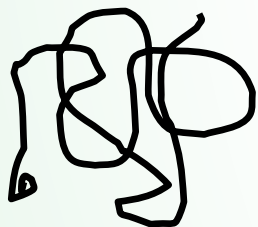
2. Конфигурации макромолекул



а) линейная б) разветвленная в) многократно разветвленная г) сетчатая

Полимеры с линейной, разветвленной конфигурацией могут растворяться в органических растворителях, полимеры с сетчатой конфигурацией – не плавятся и не растворяются, а только набухают.

3. Конформации макромолекул:



Клубок

Глобула

Струна

Спираль

Складка

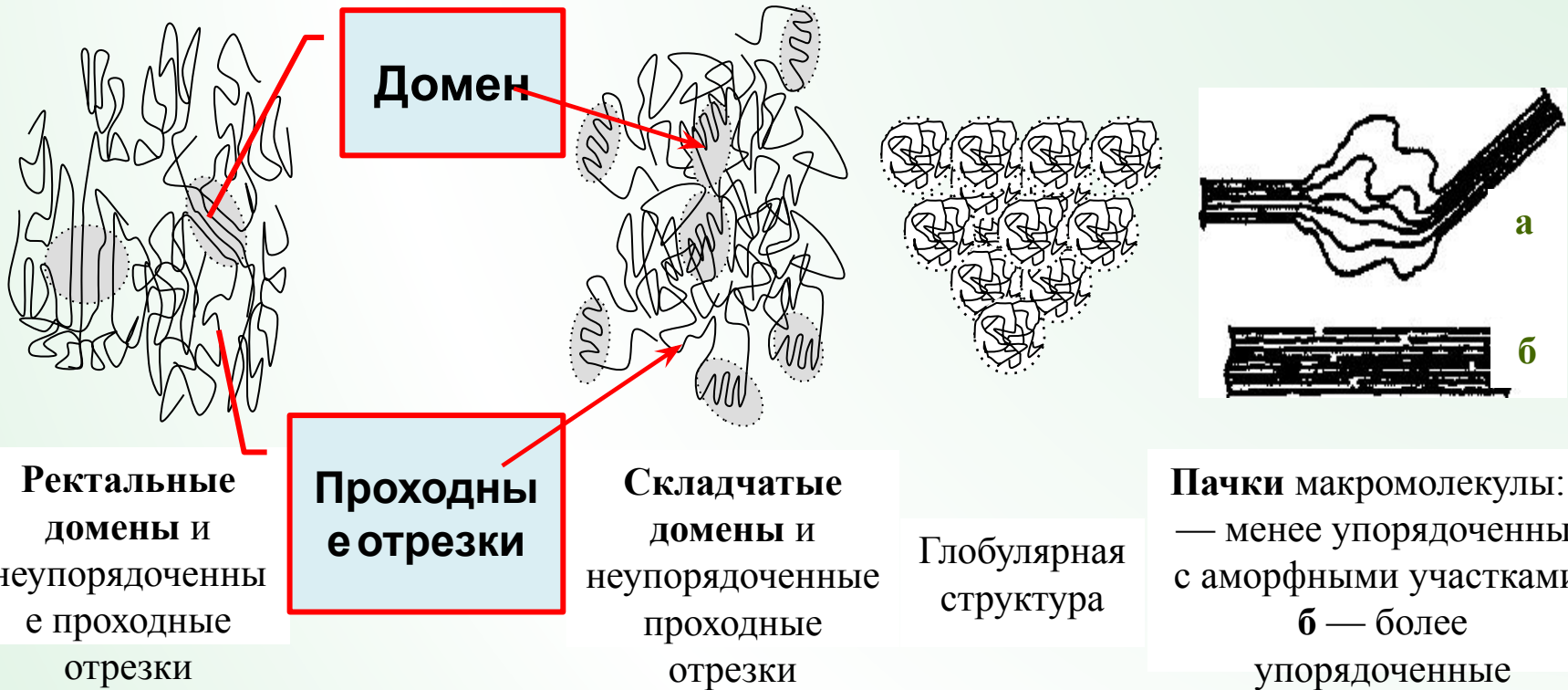
Гибкие: неполярные и слабо полярные полимеры, не имеющие громоздких объемных заместителей – ПЭ, ПП, полиорганосилоксаны (кремнийорганические полимеры), диеновые полимеры (каучуки).

Хорошо растворяются, эластичные, морозостойкие

Полужесткие и жесткие: полярные полимеры и полимеры с сопряженной связью - ароматические полиамиды и полиэферы, целлюлоза и её производные (ацетаты, нитраты целлюлозы, метил-, этилцеллюлоза, целлофан (гидрат целлюлозы)).

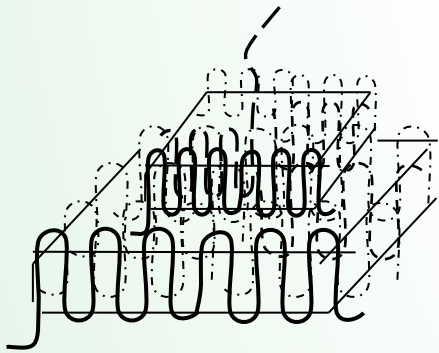
Механически прочные, износостойчивые, стойкие к действию растворителей.

4. Надмолекулярная структура аморфных полимеров

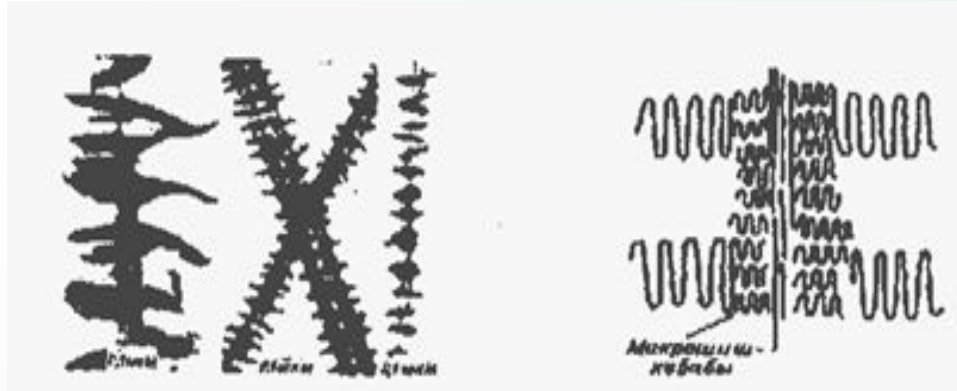


Полимеры глобулярной структурой являются более хрупкими. Полимеры «пачечной» структуры и полимеры с ректальными и складчатыми доменами - более жесткие и прочные.

4. Надмолекулярная структура кристаллических полимеров



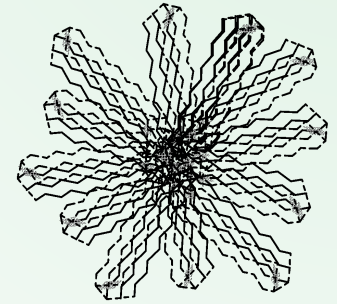
а



б

в

г



многослойный пластинчатый кристалл (а), «шиш-кебаб» (б,в), сферолит (г)

Чем выше доля упорядоченной фазы в полимере (степень кристаллическости), тем выше плотность, прочность при растяжении и сжатию и меньше проницаемость для паров воды и газов, меньше прозрачность, пластичность, лучше растворимость и др.

Влияние роста степени кристалличности на эксплуатационные свойства полимеров

Плотность	<i>Увеличивается</i>
Проницаемость	<i>Уменьшается</i>
Прозрачность	<i>Уменьшается</i>
Прочность при растяжении	<i>Увеличивается</i>
Прочность при сжатии	<i>Увеличивается</i>
Пластичность	<i>Уменьшается</i>
Удлинение при разрыве	<i>Уменьшается</i>
Температуры плавления, термосваривания и теплостойкость	<i>Увеличивается</i>

Свойство	ПЭНП	ПЭВП
Степень кристалличности, %	30-60	50-80
Прочность при растяжении, МПа	10-16	22-32
Прочность при изгибе, МПа	12-17	20-35
Твердость по Бринеллю, МПа	15-25	45-60
Температура плавления, °С	105-115	125-130
Коэффициент газопроницаемости по кислороду, *10 ⁹ (см ² /(с*Па))	2,60	0,19

5. Когезия

Прочность полимеров обеспечивают **химические связи** между атомами **вдоль цепей** макромолекул и **когезионные силы** между соседними **макромолекулами**

Чем **выше полярность полимеров**, тем **интенсивнее когезия (ПЭК)**, тем **выше прочность и теплостойкость**, меньше **усадка полимеров**

Влияние когезии на эксплуатационные свойства полимеров

Полимер	Плотность энергии когезии ПЭК , Дж/см ³	Температура стеклования, T_с , °С	Температура плавления, T_{пл} , °С	Прочность при растяжении, МПа	Коэффициент линейного расширения, β , 1/К
Полиэтилен ПЭНП	259	-100	105	10-17	(20 ÷ 55) * 10⁻⁵
Поливинилацетат ПВА	377	28	120 (размягчения)	35	8,6 * 10⁻⁶
Поливинилхлорид ПВХ	558	82	150÷220 (размягчения)	40-65	6 * 10⁻⁷

6. Агрегатные состояния полимеров

Твердое

Жидкое

7. Фазовые состояния полимеров

Кристаллическое

(четкий ближний и дальний порядок в расположении звеньев и молекул по всему объему вещества)

Степень кристалличности больше 25 %

Аморфное (Жидкое)

частичный порядок в расположении сегментов, но нет порядка в расположении по всему объему вещества

Степень кристалличности меньше 25 %

Свободный объем V_c больше в аморфных полимерах.

$$V_c = V_T - V_M \geq 11,3 \%$$

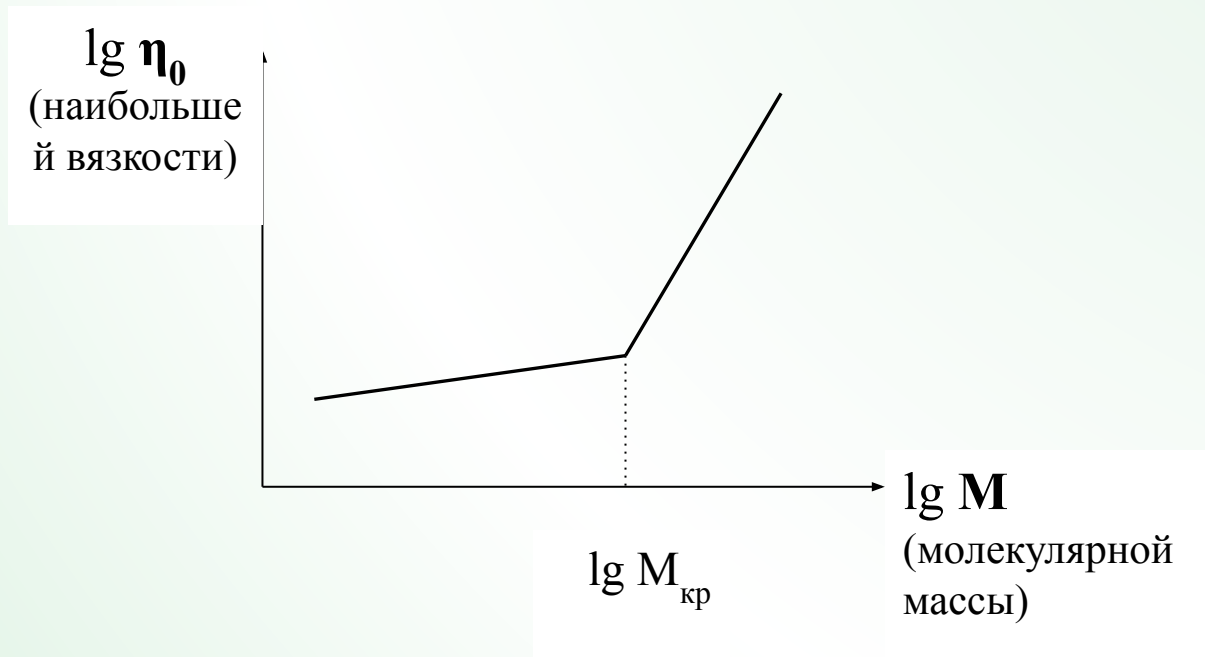
Растворимость, гибкость, прозрачность, морозостойкость аморфных полимеров выше, чем у кристаллических. Многие из них «стеклуются, застывают» при минусовых температурах. T_c у полиизопренового каучука - минус 100°C , у полиэтилена - минус $70 \div$ минус 100°C

Перерабатываются в изделия аморфные полимеры легче, чем кристаллические.

8. Молекулярная масса и полидисперсность

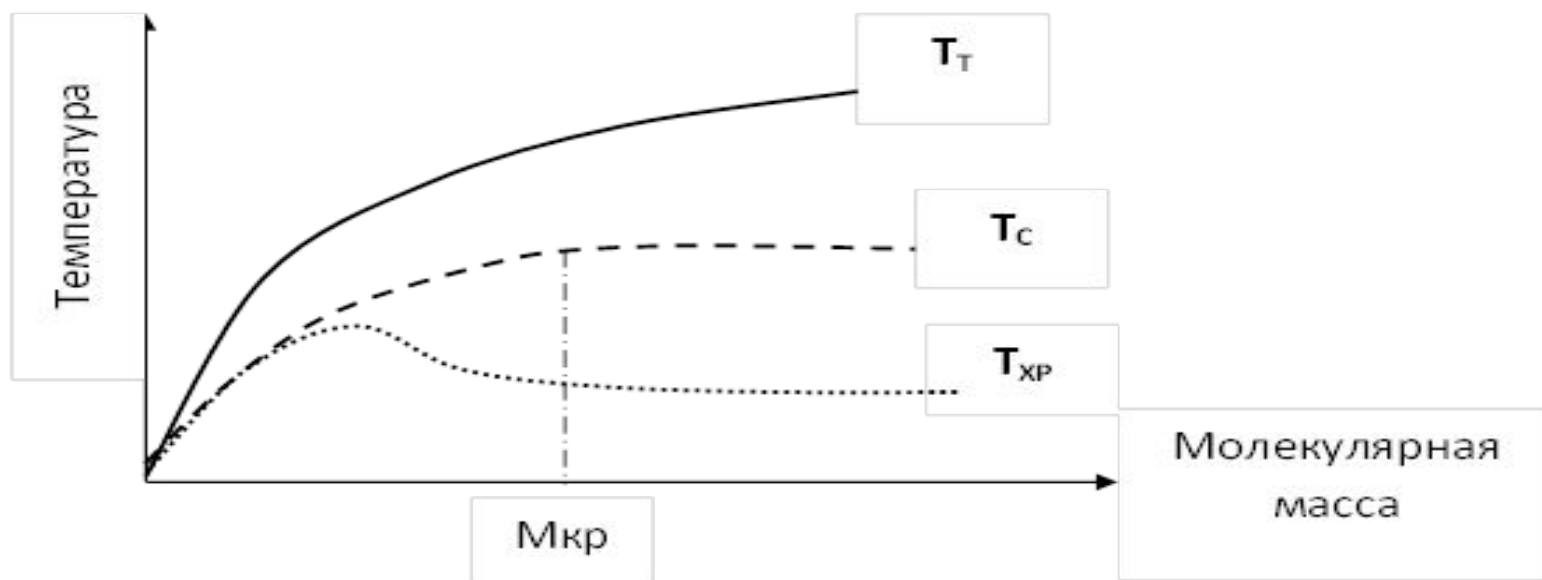
С ростом молекулярной массы:

- *снижается глубина протекания химических реакций*
- *повышаются механические свойства*
- *после достижения критической молекулярной массы полимеров $M_{кр}$ резко возрастает вязкость η_0 и ухудшается текучесть расплавов полимеров*



Влияние молекулярной массы на вязкость расплавов полимеров

Влияние молекулярной массы на температуры физических переходов



Степень полимеризации полиизобутилена ПИБ, n	100	1300	10 000	60 000
Температура текучести T_T, °C	- 30	+20	+115	+220

9.



Достоинство термопластов –
несложность
переработки
в изделия и возможность
вторичной переработки
ОТХОДОВ.

Реактопласты после отверждения имеют **высокие прочностные свойства** (*модуль упругости до 4500 МПа*), **химическую стойкость, твердость, теплостойкость до 300⁰С, меньшие коэффициенты линейного и объемного расширения**

10. Термомеханические и теплофизические свойства полимеров

Термомеханические свойства отражают *изменение размеров*, объема, структуры, *прочности* и др. показателей полимеров *в зависимости от температуры*. Кривые, с помощью которых описывают эти изменения, называются *термомеханическими кривыми*.

Теплофизические (термические) свойства отражают *характер, условия, природу и уровень тепловых процессов*, протекающих в полимерах *при изменении температуры*.

Важнейшими эксплуатационными *термомеханическими* характеристиками полимеров являются:

- **температура стеклования T_c и температура текучести T_m** для аморфных полимеров;
- **температура плавления $T_{пл}$** для кристаллических полимеров
- **$T_{дестр.}$ и $T_{хр}$** – для всех типов полимеров

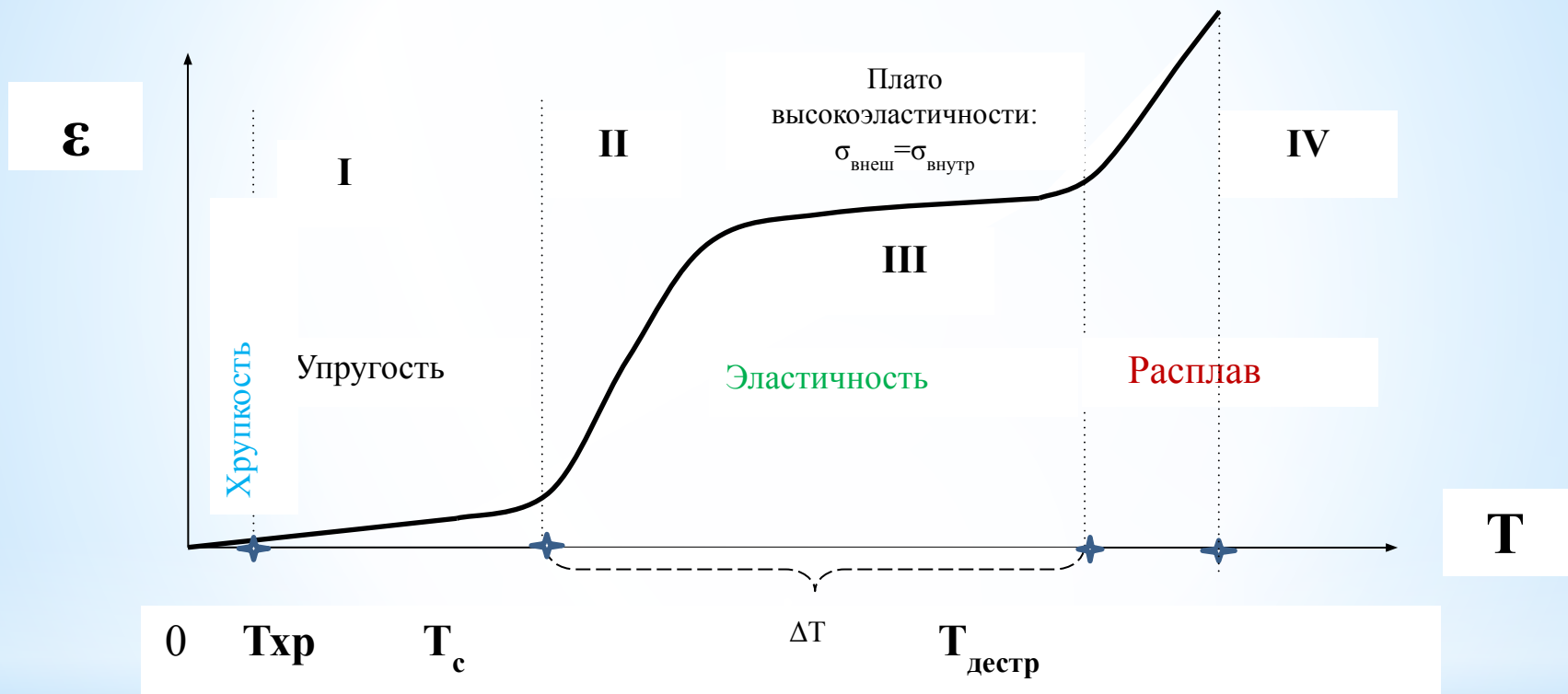
Чтобы определить значения этих температур необходимо проследить за **изменением размеров**

ε образца полимера **при нагревании** при одновременном действии постоянной нагрузки **σ** ($\sigma = \text{const}$).

ε - относительное удлинение образца.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Поведение аморфного полимера при нагревании

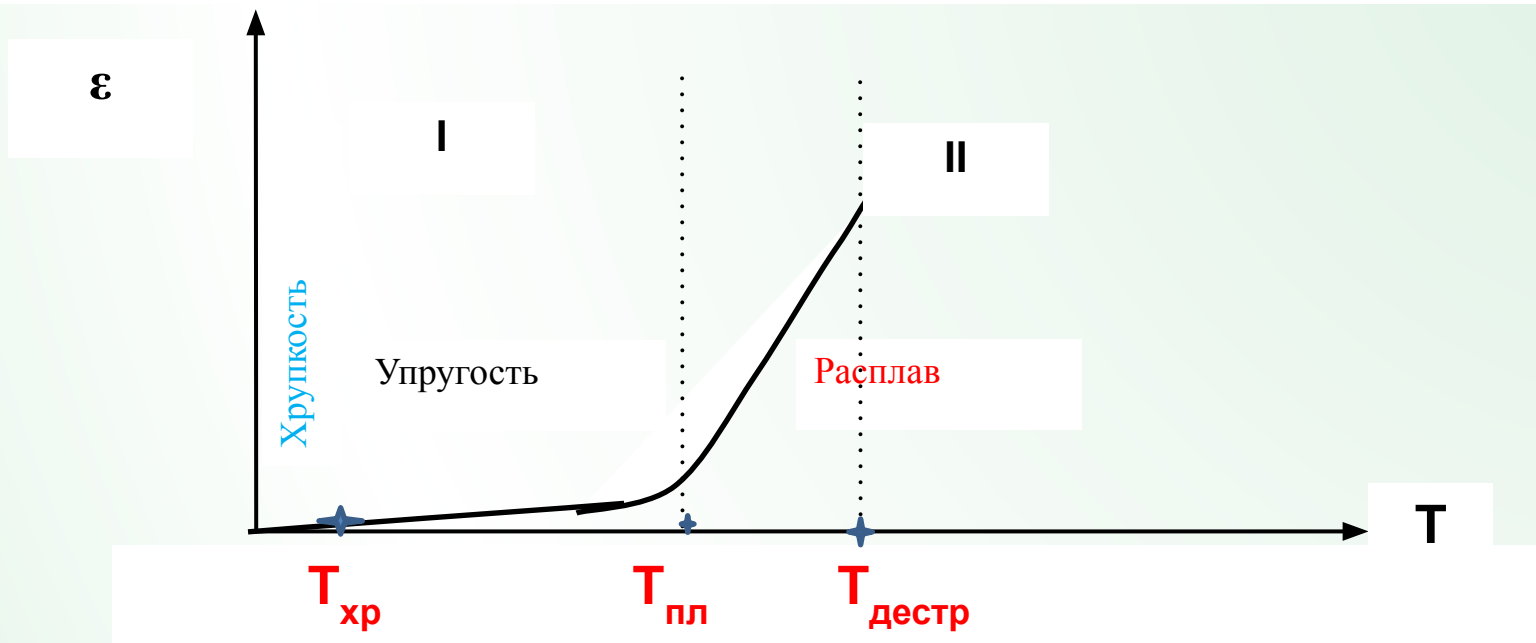


Термомеханическая кривая *аморфного* полимера

I - *стеклообразное* физическое состояние; **II** - *высокоэластическое* физическое состояние; **III** - *вязкотекучее* физическое состояние.

$T_{\text{ХР}}$ $T_{\text{С}}$ T_{T} $T_{\text{ДЕСТР}}$ - температуры хрупкости, стеклования, текучести и разрушения.

Поведение кристаллического полимера при нагревании



Условия переработки полимеров :

Аморфн.: $T_T < T_{перер} < T_{дестр}$ (экструзия, литье под давлением)

Аморфн., ам-кр: $T_C < T_{перер} < T_T$ (раздувное вакуум-, пневмоформование)

Кристал.: $T_{пл} < T_{перер} < T_{дестр}$ (экструзия, литье под давлением)

Условия эксплуатации полимеров :

Аморфн.: $T_C < T_{экспл} < T_T$ (как эластомер)

Аморфн., ам-кр : $T_{XP} < T_{экспл} < T_C$ $\sigma_{эксп} < \sigma_{XP}$ (как конструкционный материал)

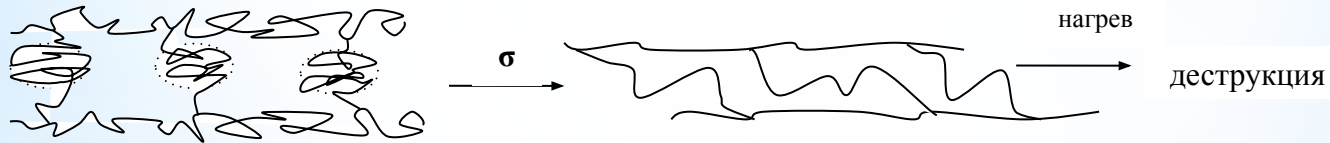
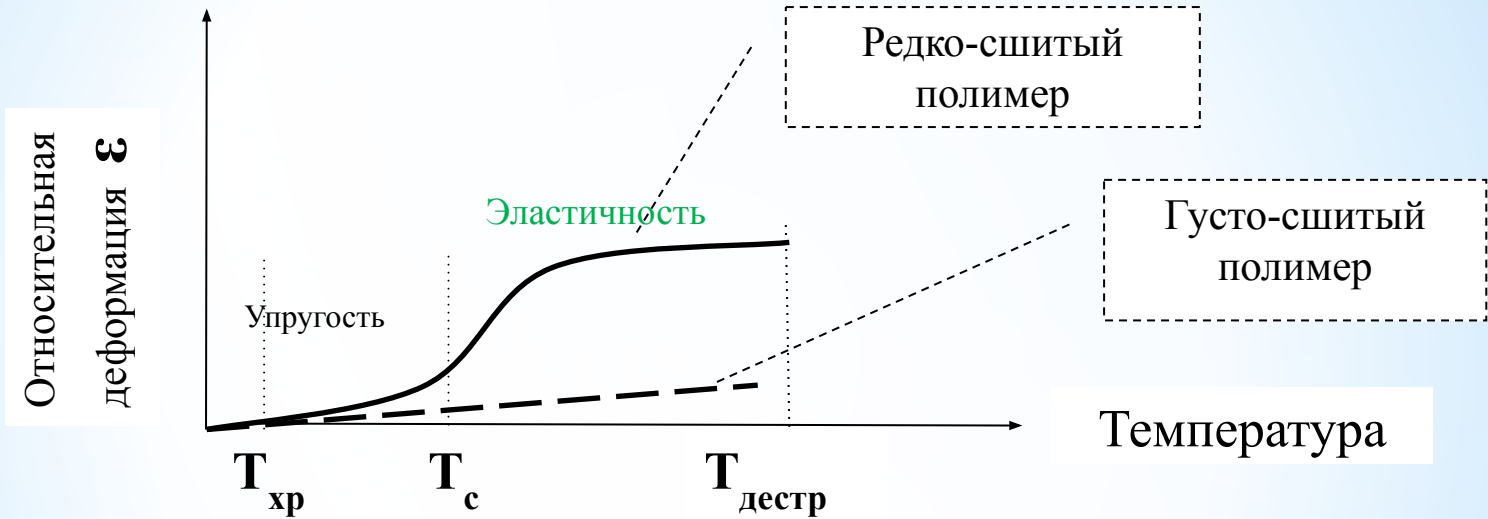
Кристал. : $T_{XP} < T_{экспл} < T_{пл}$, $\sigma_{эксп} < \sigma_{XP}$ (как конструкционный)

Группа полимеров и характер использования	Полимер	Максимальная степень кристалличности, %	T _c , °C	T _{пл} , °C (крис- та- фы)
1 Аморфные. В нормальных климат. условиях используют как прочные, конструкционные (т.к. высокие T_c аморфной фазы и высокие T_{пл} кристалл. фазы)	Полистирол	0	90-110	-
	Полиметилметакрилат	0	100-115	-
	Поливинилхлорид	10-25	70-90	175-310
	Полифениленоксид	20	200-210	267
	Поликарбонат	25	140-150	275
	Полиарилат Д	-	155-175	275
	Фенилон	-	270	430
2 Аморфно-кристаллические. В нормальных условиях используют как прочные, конструкционные до небольших температур (т.к. умеренно высокие T_c аморфной фазы и высокие T_{пл} кристалл фазы)	Политрифторхлорэтилен	30-40	50-70	208-210
Пентапласт	30	8	180	
Поликапроамид (полиамид-6)	50-70	50-70	225	
Полигексаметиленадипамид (полиамид-6,б)	50-75	50-65	264	
3 Преимущественно кристаллические. В естеств. условиях используют как конструкционные при небольших нагрузках (т.к. высокая T_{пл} кристалл фазы). Однако возможно проявление эластичности при большой нагрузке, т.к. T_c очень низкие и аморфная фаза находится в ВЭС	Полиэтилен низкой плотности	55-67	-110 ÷ -90	120
высокой плотности	75-90	-120 ÷ -110	124-131	
Полипропилен	80-95	-20 ÷ -5	165-170	
Полибутен-1	70-80	-25	135	
Политетрафторэтилен	50-95	-110 ÷ -80	327	
Полиформальдегид	75-96	-80 ÷ -70	165-180	

Температурные интервалы переработки термопластичных полимеров

Группа	Полимер	Минимальная температура переработки, T _{мин} , °C	Температура начала деструкции, T _{дестр} , °C	Максимально возможный интервал формования, (T _{дестр} – T _{мин}), °C	Оценка перерабатываемости литьем под давлением
1.	Полистирол	90 - 110	310	200 - 220	Хорошая
	Полиметилметакрилат	100 - 115	280	165 - 180	Удовлетв
	Поливинилхлорид	70 - 90	170	80 - 100	Лучше вальцевание
	Полифениленоксид	267	320	53	-
	Поликарбонат	275	330	55	Удовлетв
2	Поликапроамид (полиамид-6)	225	360	135	Удовлетв
	Полиэтилентерефталат	260	270	10	Низкая
3	Полиэтилен	120 - 130	320	190 - 200	Хорошая
	Полипропилен	170	300	130	Хорошая
	Политетрафторэтилен	327	400	73	Удовлетв

Поведение сетчатых полимеров при нагревании



Условия переработки и эксплуатации редкосетчатых полимеров :

$T_C \ll \ll T_{перер} < T_{дестр}$ (вальцевание, каландрование, шприцевание, раздувное формование)

$T_C < T_{эксплуат} \ll \ll T_{дестр}$ (как эластомеры)

Переработка и эксплуатация густосетчатых полимеров (конструкционные):

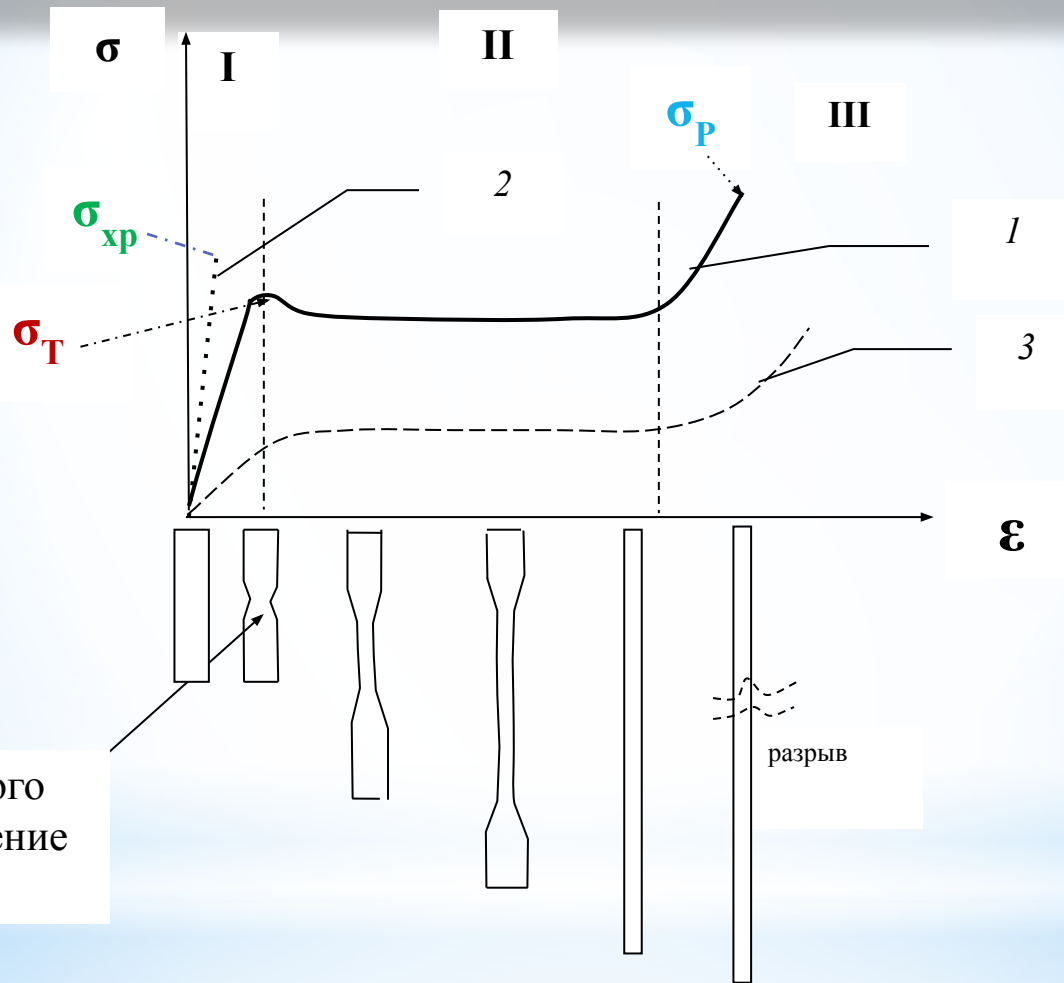
$T_{ХР} < T_{перер} < T_C$ (резание, сверление, вытачивание)

$T_{ХР} < T_{экспл} < T_C$

$\sigma_{экспл} < \sigma_{ХР}$

Группа	Полимер	Характер эксплуатации	T _c , °C	T _{пл} , °C (крис. фазы)
1 <i>Аморфные.</i> В нормальных климат. условиях используют как прочные, конструкционные	Полистирол	Конструкционные материалы. Выдерживают большие нагрузки, не деформируются до высоких температур	90-110	-
	Полиметилметакрилат		100-115	-
	Поливинилхлорид		70-90	175-310
	Полифениленоксид		200-210	267
	Поликарбонат		140-150	275
	Полиарилат Д Фенилон		155-175 270	275 430
2 <i>Аморфно-кристаллические.</i> В нормальных условиях используют как прочные, конструкционные	Политрифторхлорэтилен	Конструкционные материалы. Выдерживают большие нагрузки, но при невысоких температурах	50-70	208-210
	Пентапласт		8	180
	Поликапроамид (полиамид-6)		50-70	225
	Полигексаметиленадипамид (полиамид-6,6)		50-65	264
3 <i>Преимущественно кристаллические.</i> В естеств. условиях используют как конструкционные и частично эластичные при небольшой нагрузке	Полиэтилен низкой плотности высокой плотности	Конструкционные материалы при умеренной величине нагрузки. <i>Могут деформироваться за счет аморфной фазы, которая находится в высокоэластическом состоянии.</i>	-110 ÷ -90	120
	Полипропилен		-120 ÷ -110	124-131
	Полибутен-1		-20 ÷ -5	165-170
	Политетрафторэтилен		-25	135
	Полиформальдегид		-110 ÷ -80 -80 ÷ -70	327 165-180

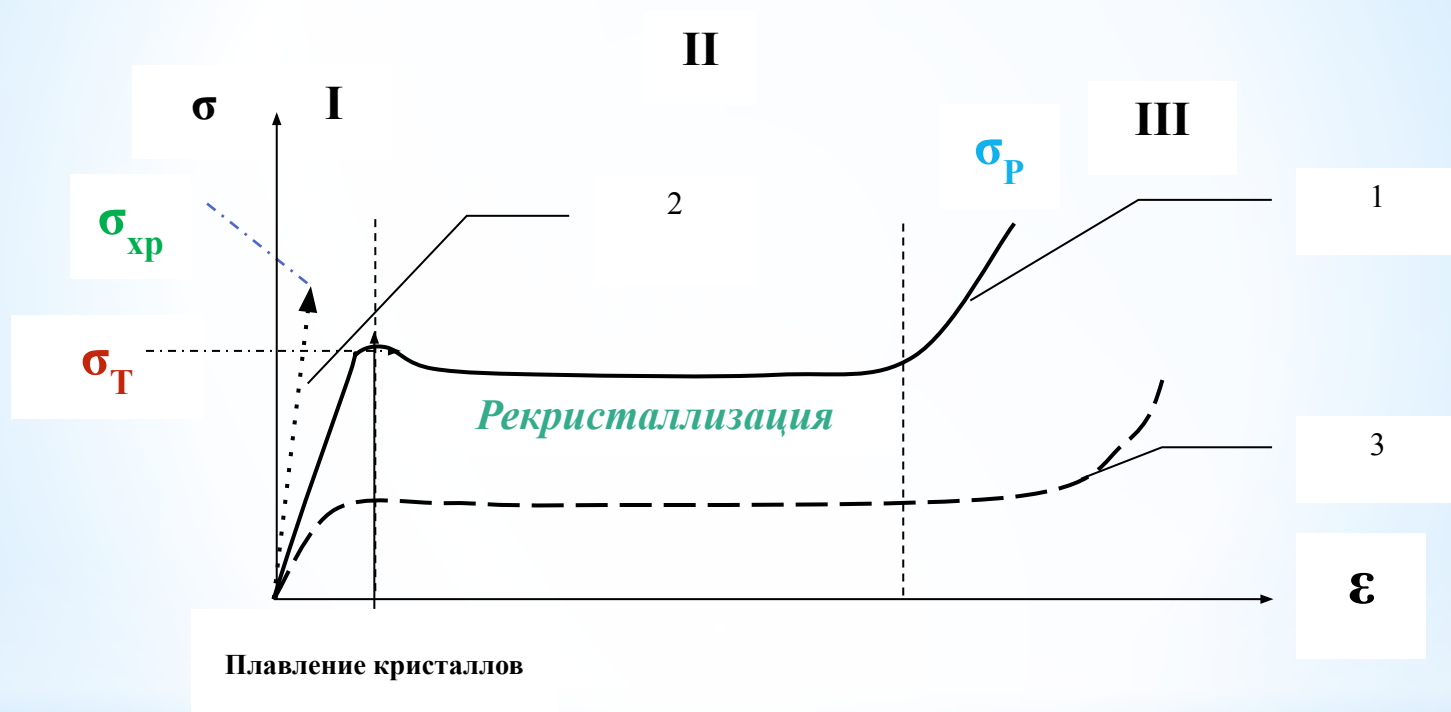
11. «Хладотекучесть» аморфных полимеров в стеклообразном состоянии



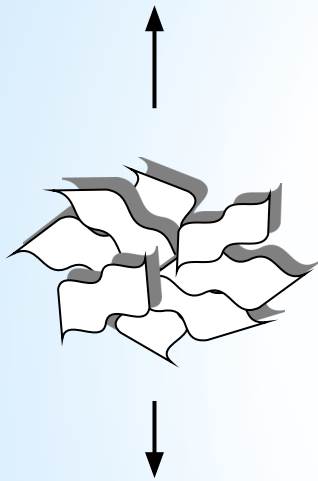
Начало «холодного течения», появление «шейки»

Деформационно-прочностные кривые и вид деформируемого образца аморфного полимера в стеклообразном состоянии: 1 – *при естественных температурах эксплуатации*; 2 - при пониженных температурах ; 3 – при повышенных температурах

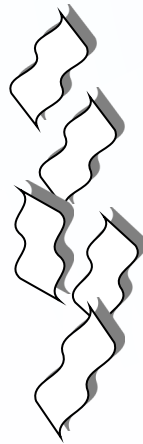
«Рекристаллизация» кристаллических полимеров в кристаллическом физическом состоянии



Кривые растяжения *кристаллических полимеров*: 1 – в естественных условиях эксплуатации, 2 - при пониженных температурах., 3 – при повышенных температурах



Сферолит



Фибрилла

Изменение морфологии кристаллитов цис-полиизопрена при разной степени вытяжки ϵ : А = 50 %; Б = 200 – 250 %; В = 300 % (фибрилла)

**Условия эксплуатации
конструкционных
полимеров :**

$$T_{\text{ХР}} < T_{\text{экспл}} < T_{\text{С}}$$

$$T_{\text{ХР}} < T_{\text{экспл}} < T_{\text{ПЛ}},$$

$$\sigma_{\text{эксп}} < \sigma_{\text{ХР}}$$

$$\sigma_{\text{эксп}} < \sigma_{\text{Т}}$$

Интервалы температур эксплуатации полимеров в качестве конструкционных пластиков

Полимер	Рекомендуемый интервал рабочих температур эксплуатации, °С		Температура плавления, °С
	Нижнее значение	Верхнее значение	
Полиэтилен: -низкой плотности	-120 ÷ -45	60-70	100-108
-высокой плотности	-150 ÷ -60	70-80	120-135
Полипропилен	-50 ÷ -5	95-110	160-168
Поливинилхлорид	-20 ÷ -10	60-85	-
Полистирол	-40	65-70	160-175
Пластик АБС	-60	75-85	165-180
Полиамид-6	-60	60	221-223
Поликарбонат	-120	115-135	220-240
Фторопласт-4	-269	250-260	-
Полиэтилентерефт алат	-60	150-160	250-265

**Условия
эксплуатации
конструкционных
полимеров :**

Аморфные: $T_{ХР} < T_{экспл} < T_C$

Кристалл: $T_{ХР} < T_{экспл} < T_{Пл}$,

$$\sigma_{эксп} < \sigma_{ХР}$$

$$\sigma_{эксп} < \sigma_T$$

**Аморфные - в стеклообразном;
кристаллические - в кристаллическом
физическом состояниях**

проявляют упругость

Закон Гука

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

**Модуль упругости E – максимальный
(до 10^3 МПа)**

Классификация полимеров по жесткости



Полимер	Прочность, σ_p , МПа			Относительная деформация, ε %	Модуль упругости, Е, МПа	
	При растяжении	При сжатии	При изгибе		При растяжении	При изгибе
Полиэтилен: <i>-низкой плотности</i>	10-17	12	12-17	50-600	-	120-260
<i>-высокой плотности</i>	18-35	20-36	20-38	250-1000	-	650-930
Полипропилен ПП	25-40	11	-	200-800	-	1170-1730
Поливинилхлорид (твердый) ПВХ	40-120	80-100	40-120	5-100	2600-3000	2620-3590-
Полистирол ПС	37-48	90-100	65-105	1-4	-	2700
ПС ударопрочный	18-26	-	35-60	12-45	-	2000- 2500
Пластик АБС	32-65	-	30-100	12-70	1500-2600	1000-2450
Оргстекло	63-100	100-105	90-120	2,5-20	2900-4160	-
Полиамид-6	55-77	-	90-100	100-150	1200-1500	-
Поликарбонат	45-90	90-95	75-110	2,5-80	-	2350
Полиэтилентерефталат ПЭТ	48-72	-	80-120	2-4	-	2420-3100
Фторопласт-4	15-35	10-12	14-18	250-500	-	470-850

Влияние ориентации макромолекул на прочностные свойства полимеров

Полимер	Прочность при разрыве, σ_P , МПа	Модуль упругости, E, МПа	Прочность при разрыве <i>неориентированного</i> полимера, σ_P , МПа
Монокристалл полиэтилена	13 000	240 000 – 280 000	10-17 (ПЭНП) 18-35 (ПЭВП)
Волокна полиэтилена (выращены из раствора)	4000	-	
Волокна <i>полиэтилена</i> <i>сверхориентированные</i>	400	70 000	
Волокна <i>полипропилена</i> <i>сверхориентированные</i>	900	42 000	25-40
Волокна <i>полистирола</i> изотактического <i>сверхориентированные</i>	80	12 000	37-48
Волокна <i>полиимидные</i> <i>сверхориентированные</i>	1 200	150 000	80-90
Стекловолокно	500	120 000	500
Сталь углеродистая	500	200 000	500

Спасибо

