

## **5.6 ОРИЕНТАЦИОННАЯ ВЫТЯЖКА ПОЛИМЕРОВ**

# ОРИЕНТАЦИОННАЯ ВЫТЯЖКА ПОЛИМЕРОВ

**Ориентационная вытяжка** – процесс деформирования в одном или двух направлениях нагретых пленок, листов, лент, волокон из полимеров с последующим охлаждением.

## ОДНООСНАЯ ВЫТЯЖКА

**Непрерывный способ:** Растяжение плоскощелевой пленки после охлаждения на приемном барабане при помощи тянущих или сдавливающих валков, а также с помощью зажимов (круппов)

**Периодический способ:** Растяжение предварительно сформованных заготовок при помощи зажимов (круппов).

## ДВУХОСНАЯ ВЫТЯЖКА

1. Растяжение одноосно ориентированной пленки в перпендикулярном направлении (**наиболее используемый метод**)
2. Растяжение изотропной, неориентированной пленки одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях
3. Растяжение и раздув рукавной пленочной заготовки одновременно.

## **ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ:**

Для получения ориентированных изделий применяют: ПЭВП, ПЭНП, ПЭСП, ПП, ПС, ПК, ПВХ (жесткий и пластифицированный), ПЭТФ, ПММА, ПА-6 и ПА-12, смеси полимеров полимеры + НП

**ИЗДЕЛИЯ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКОЙ:** пленки толщиной от 1 (реже - 0,5) до 200 мкм, а также листы толщиной от 0,5 до 20 мм; ленты, прутки, плоские волокна.

## **СТАДИИ ПРОЦЕССА:**

**1. Экструзия заготовки**

**2. Резкое охлаждение заготовки – получение мелкокристаллической структуры в полимере (лучше деформируется, чем с большими кристаллитами).**

**3. Обрезка утолщенных кромок и контроль толщины заготовки.**

**3. Перемещение заготовки со скоростью  $V_1$  равной скорости экструзии.**

**4. Ступенчатый нагрев заготовки до  $T \approx T_{пл} - (5 \div 10)$  или  $T_{ст} + (15 \div 20)$ .**

**5. Вытяжка нагретой заготовки со скоростью  $V_2 > V_1$ .**

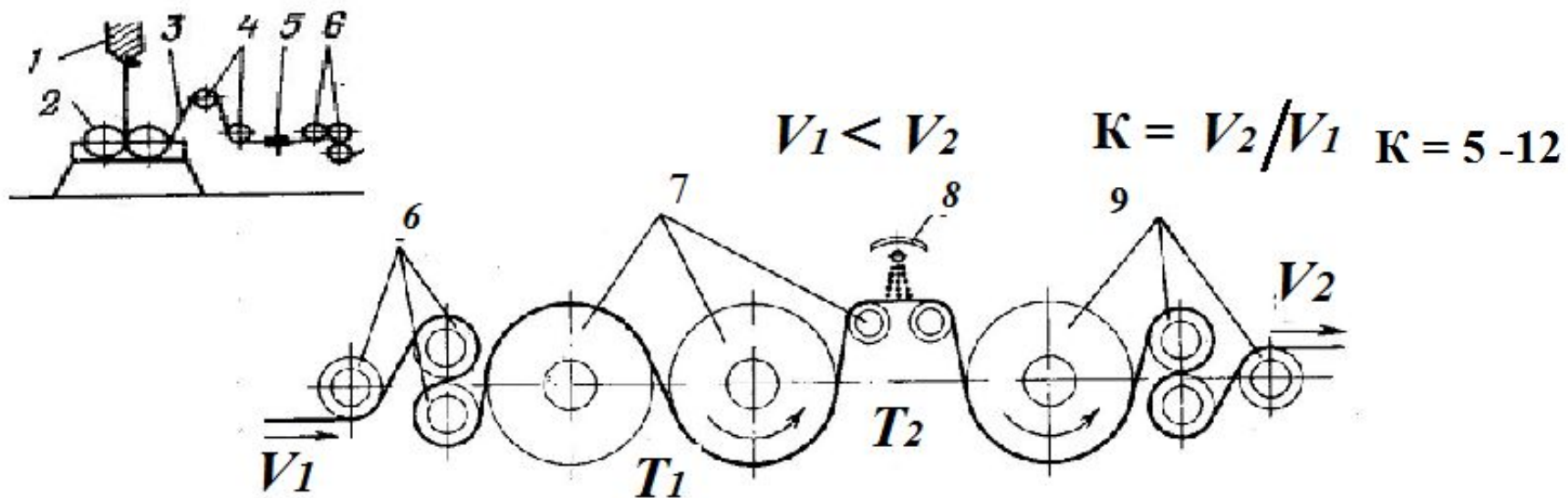
**7. Термофиксация вытянутой заготовки в зажимах (крупках) для кристаллизации полимера в вытянутом состоянии.  $T \text{ т.ф.} > T_n (\approx T_{пл} + 5)$ .**

**Изделия из аморфн. полимеров только охлаждаются с целью "замораживания" ориентированного состояния цепей.**

**8. Обрезка кромок.**

**9. Наметка на баббин...**

## Технологическая схема получения одноосно-ориентированных пленок



1 - экструдер с плоскощелевой головкой; 2 - приемный барабан ( $D = 350 - 800 \text{ мм}$ ) или валковая пара; 3 - плоская заготовка; 4 - компенсатор натяга; 5 - бесконтактный толщиномер; 6 - медленно вращающиеся валки; 7 - нагревательные валки; 8 - ИК-излучатель; 9 - быстро вращающиеся валки.

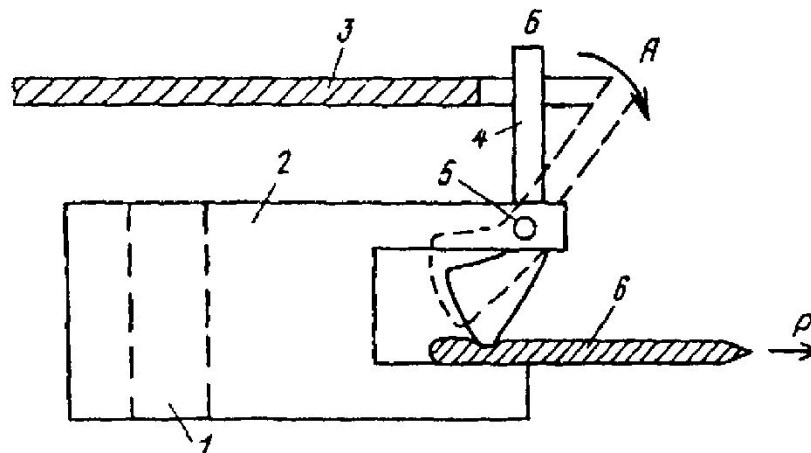
$D$  валков (7 и 9) от 200 до 500 мм

Температура вытяжки ( $T_v$ ): ПЭВД 90 – 105 °С;

ПП от 140 до 160 °С

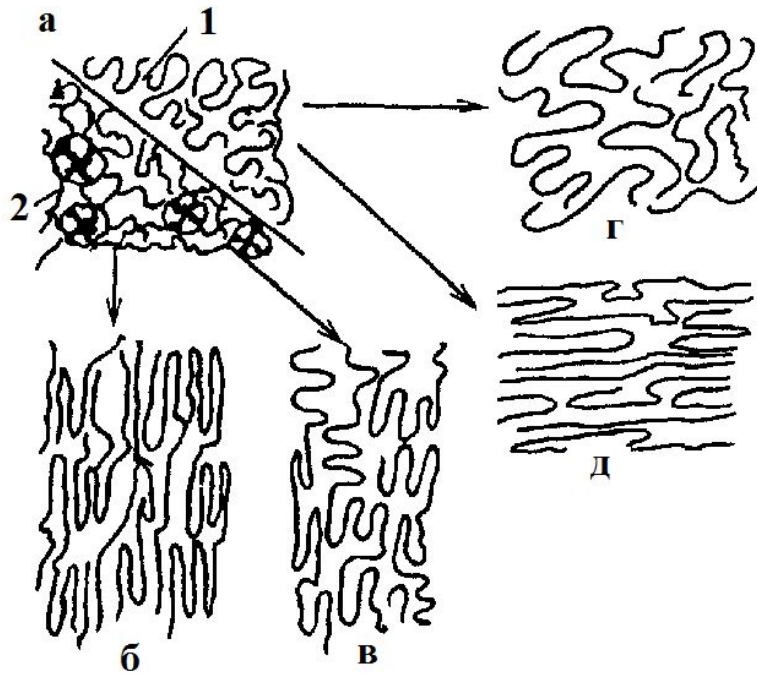
## УСТРОЙСТВО КЛУППА (зажима)

Работа клуппа основана на принципе самозажимания пленки.



При заправке края пленки в зоне термофиксации в клупп под действием толкателя-упора язычок 4 клуппа 2 отклонен в позицию А (по стрелке). Пленка 6 своим краем попадает на его основание. При движении клуппа по направляющим цепям его язычок выходит из поля действия упор-толкателя и с помощью пружины на валу 5 возвращается в положение Б. В этом состоянии язычок лишь с небольшой силой прижимает пленку к основанию. При деформировании пленка стремится выдернуться из клуппа с определенной силой Р, но рабочая часть язычка немного отклоняется в сторону вытягиваемой пленки и с еще большей силой прижимает ее к основанию. После окончания растяжения пленки уже другой упор-толкатель отклоняет язычок из позиции Б в позицию А, и края пленки высвобождаются. Цикл повторяется.

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА

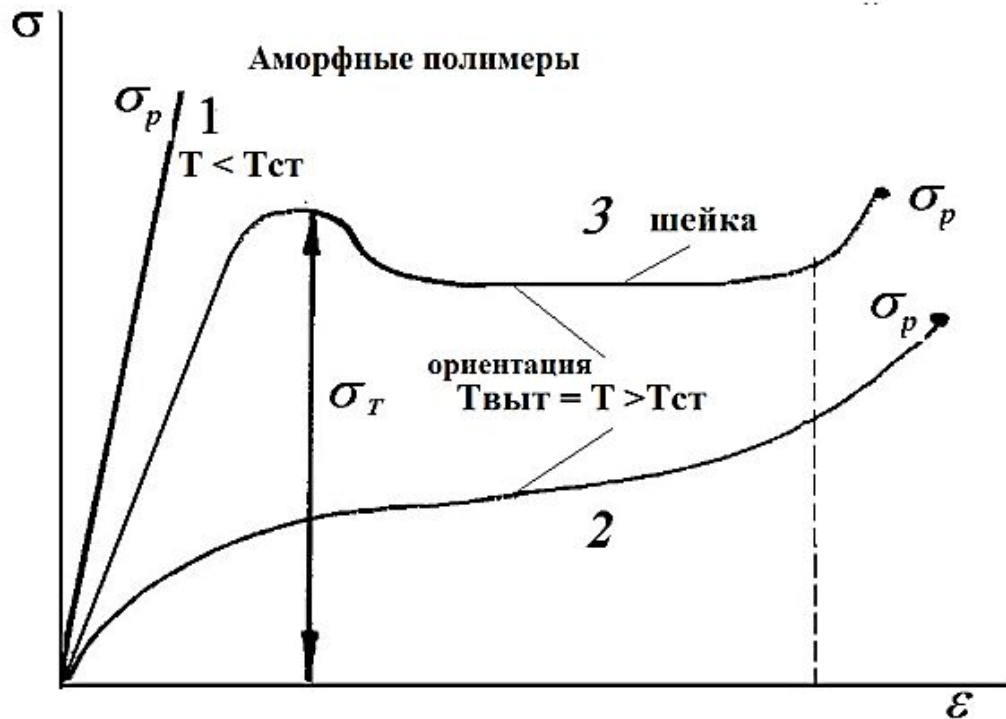


**а** - изотропное состояние аморфного (1) и кристаллического (2) полимера

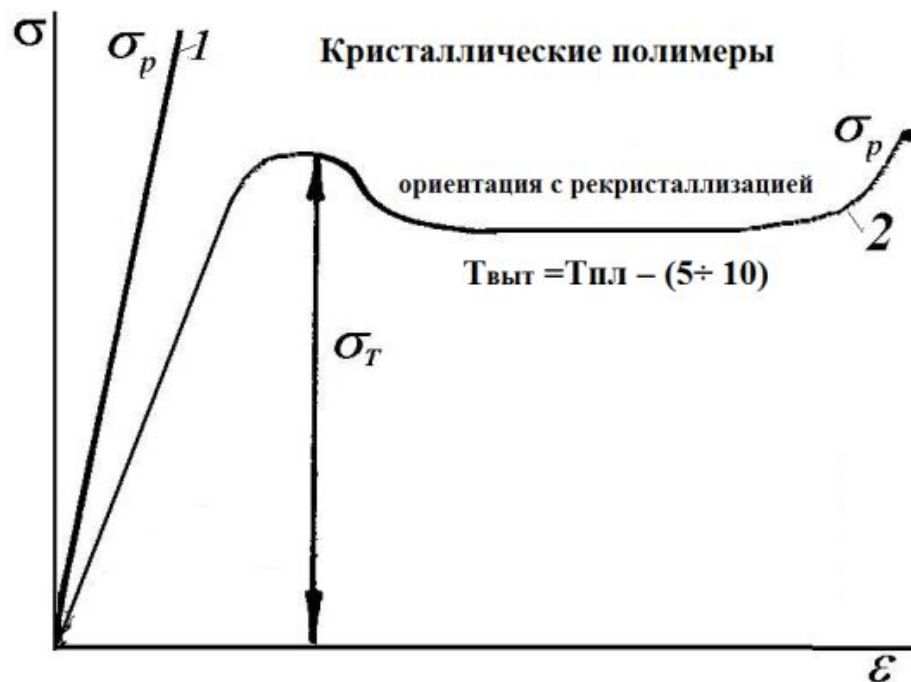
**б, д** -одноосно-ориентированное состояние;

**в, г** -неориентированное состояние

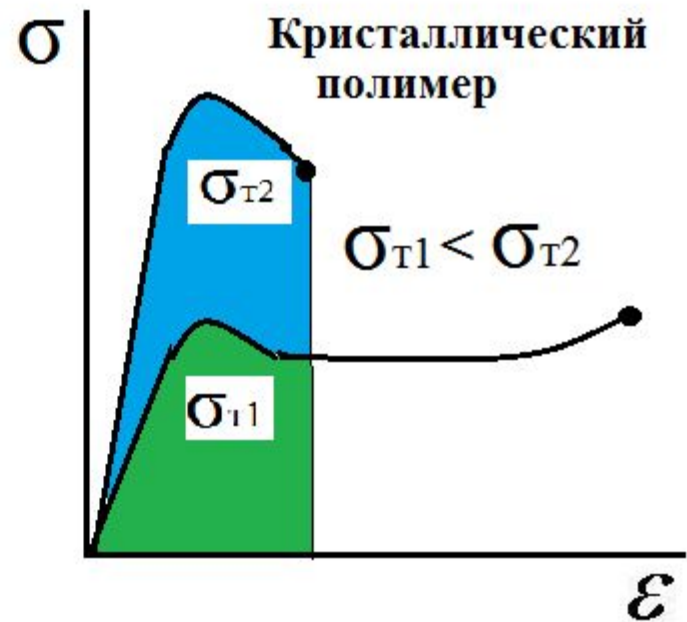
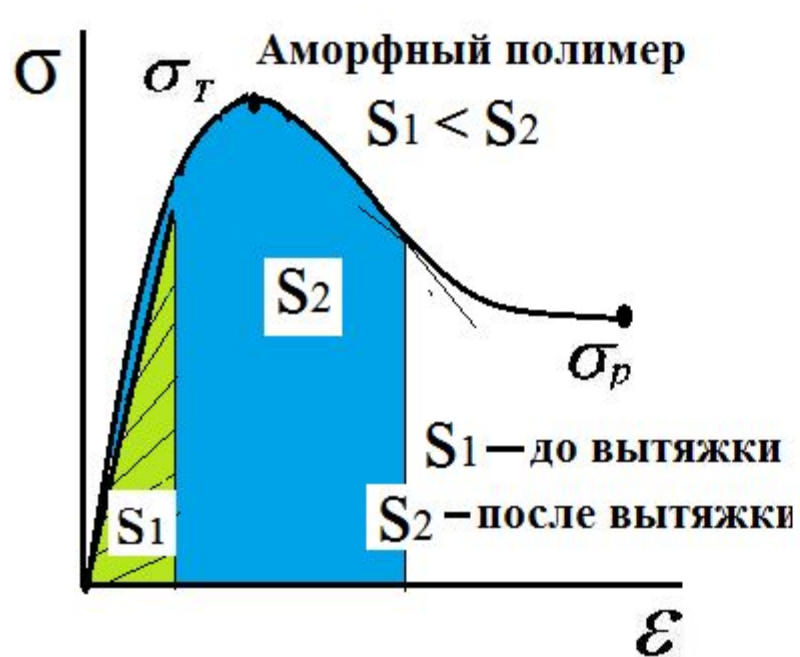
При вытяжке аморфных полимеров макромолекулы распрямляются и образуется структура типа (д), кристаллические полимеры (через стадию рекристаллизации) образуют структуру типа (б).



Ориентация кристаллических полимеров проходит через образование шейки, а аморфных в зависимости от условий – либо через образование шейки (вынужденная эластичность), либо без нее (высокая эластичность)

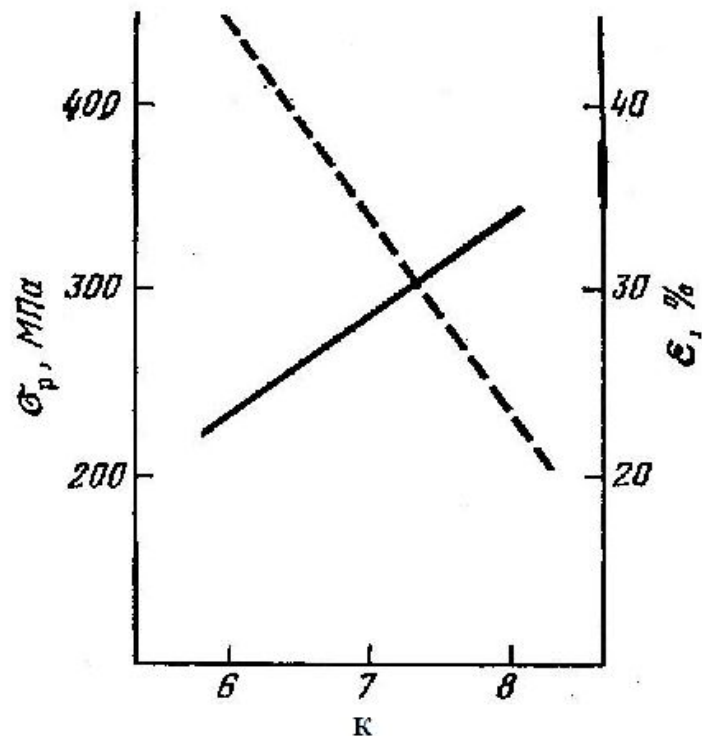
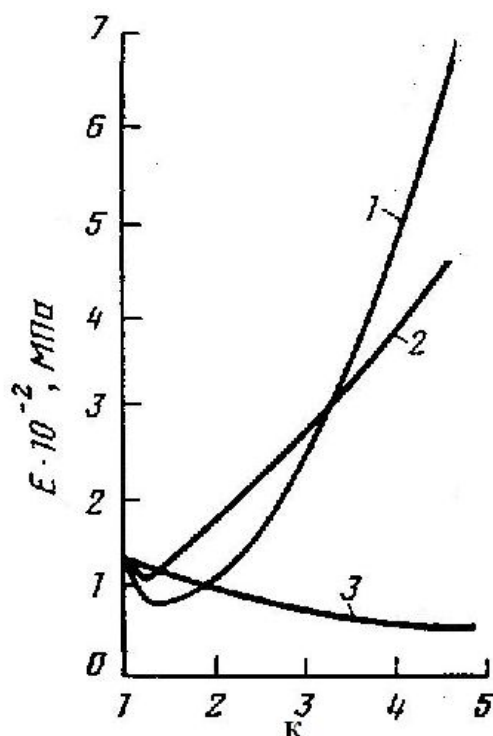


**ЦЕЛЬ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ:**  $\uparrow \sigma_T$  (для кристаллических, например ПЭ, ПП) и устранить хрупкость аморфных (ПС, ПЭТФ, ПВХ жестк).





Зависимость  $\sigma_p$  (—) и  $\epsilon_p$  (----) от кратности  
вытяжки для ПЭНП



Зависимости модулей упругости ориентированных пленок из ПЭНП от кратности вытяжки для образцов, вырезанных под углами  $\alpha$  к направлению ориентации: 1-  $E_0$  ( $\alpha = 0^\circ$ ); 2 -  $E_{45}$  ( $\alpha = 45^\circ$ ); 3 -  $E_{90}$  ( $\alpha = 90^\circ$ )

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОРИЕНТАЦИИ

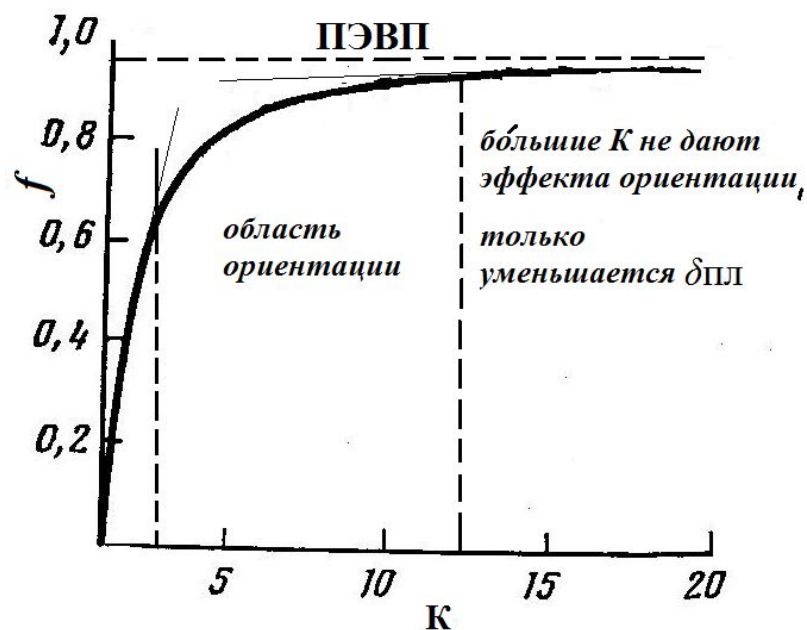
1 Кратность вытяжки в продольном направлении:

$$K_1 = \frac{V_2}{V_1} = \frac{l_k}{l_0} = \frac{\varepsilon}{100} + 1,$$

где  $l_k$  и  $l_0$  размеры рабочего участка образца после и до вытяжки;  
 $\varepsilon$  - относительная деформация при растяжении, %;  
 $V_2$  и  $V_1$  - линейные скорости выхода и входа пленки в агрегат для продольной ориентации соответственно.

Кратность вытяжки  $\neq$  степени ориентации

Степень ориентации (фактор ориентации)  $f$  - это доля макромолекул ориентированных в направлении вытяжки



**2. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ  $\mathcal{V}$**  связана с размерами рабочего участка вытягиваемого образца, степенью вытяжки и временем деформирования

$$\mathcal{V}_1 = \frac{\varepsilon}{t} = \left( \frac{l_k}{l_0} - 1 \right) \cdot \frac{100}{t} = (\lambda_1 - 1) \cdot \frac{100}{t}$$

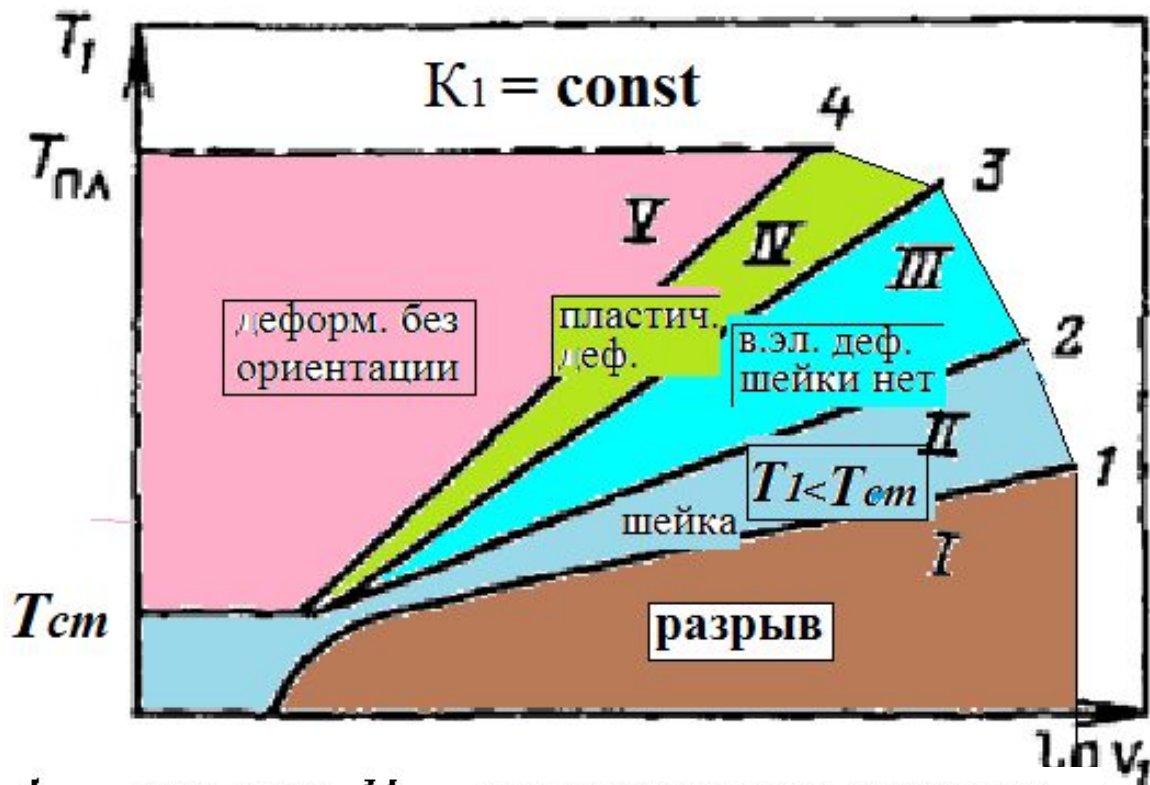
При постоянной  $\mathcal{V}$  значения  $V_1$  и  $V_2$  могут быть различны в зависимости, например, от расстояния между «медленными» и «быстрыми» валками.

Относительная скорость деформирования  $\mathcal{V}_1$  находится в довольно широких диапазонах, соответствующих высокоэластической деформации, от 10 000 до 100 000 % /мин.

### 3. Температура вытяжки $T_1$

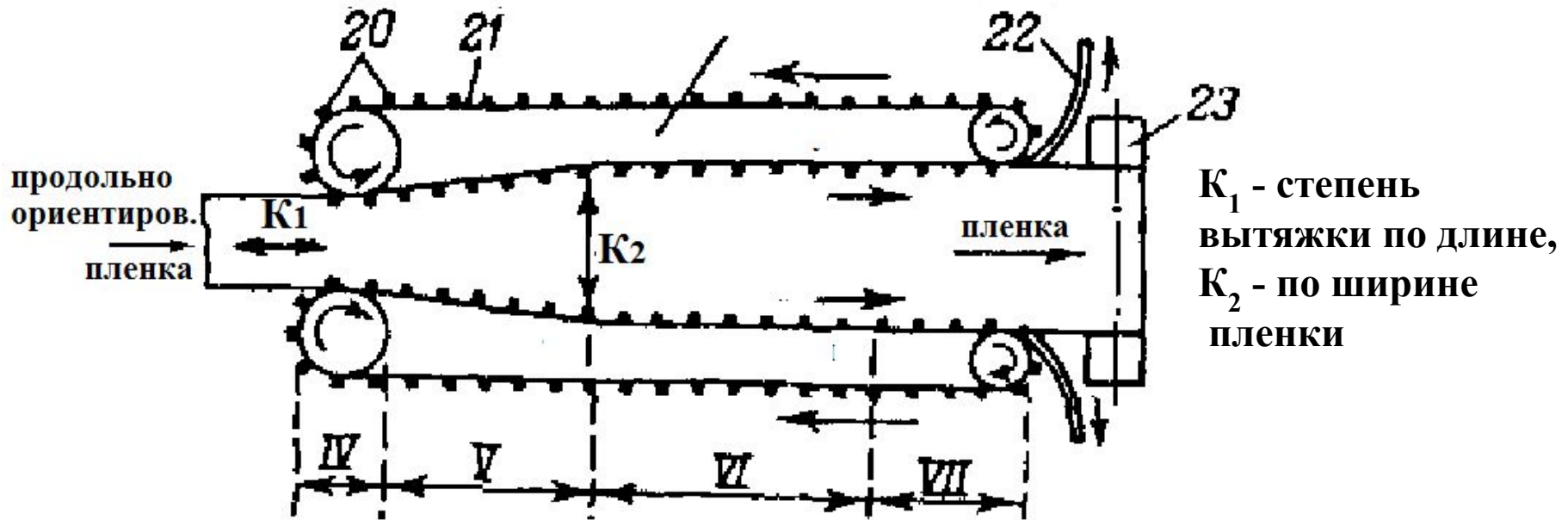
$T_1$  аморфных полимеров выбирается из неравенства  $T_1 \geq T_c + (5+10)$

Соотношение  $T_{\text{вытяжки}}$  и относительной скорости деформирования  $\lg \dot{\nu}$  для разных режимов вытяжки изотропных полимеров:



*I* — разрыв; *II* — вынужденная эластичность (через шейку); *III* — высокоэластичность; *IV* — переходная область; *V* — пластичность, вязкое течение без ориентации;  
 $T_{\text{пл}}$  и  $T_c$  — температуры плавления и стеклования

## СХЕМА ПОПЕРЕЧНОЙ ОРИЕНТАЦИИ:



20 – -крупы

21 – движущаяся непрерывная цепь

22 – обрезанная кромка пленки

23 – намоточное устройство

Зоны: IV – подогрева,

V – двухосной ориентации,

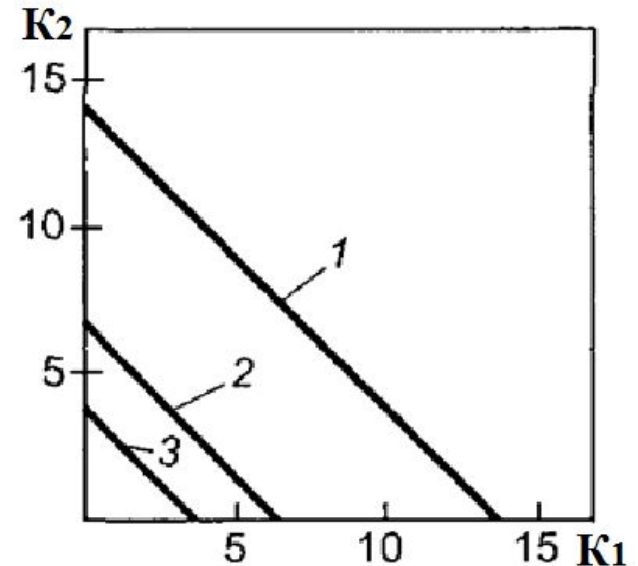
VI – термофиксации,

VII - охлаждения

Зависимость, связывающая  $T_2$  с  $T_1$ :  $T_2 = T_1 + (20 \div 30 \text{ } ^\circ\text{C})$ .

Для кристаллизующихся полимеров  $T_2$  пред  $< T_{\text{мах. скор. крист.}}$

Связь продольной ( $K_1$ ) и поперечной ( $K_2$ ) степеней вытяжки



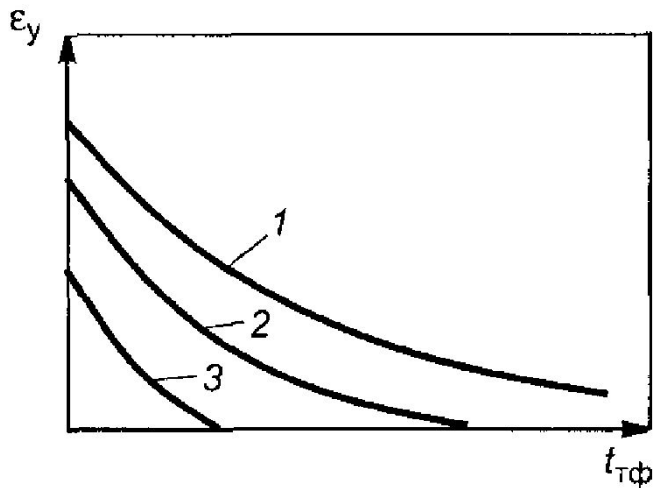
## ТЕРМОФИКСАЦИЯ

Параметры термофиксации - температура  $T_{т.ф.}$  и время  $t_{т.ф.}$ .

$t_{т.ф.} = C \exp(-T_{т.ф.} m)$ , где  $C, m$  - постоянные, зависящие от типа полимера

Если при некоторой  $T_{т.ф.}$  значение  $t_{т.ф.} > t_{т.ф. \text{ опт.}}$ , то кристаллизация + разориентация цепей. То же, если  $T_{т.ф.} > T_{т.ф. \text{ опт.}}$ .

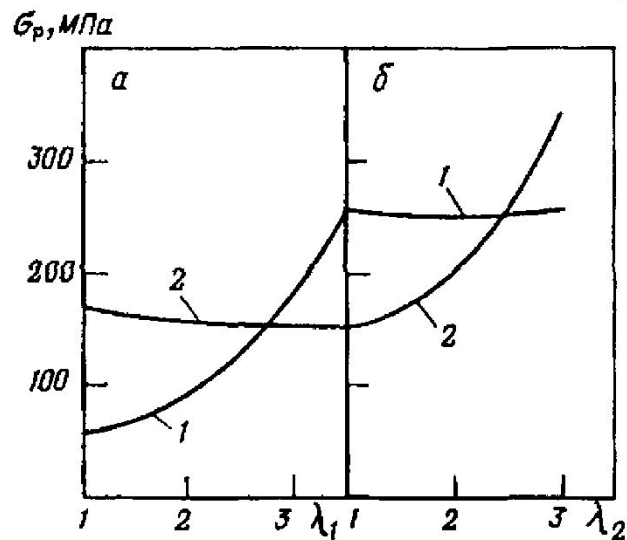
Когда  $T_{т.ф.}$ , либо  $t_{т.ф.}$  недостаточно высоки, кристаллизация не успевает пройти в полной мере, и пленка при эксплуатации начнет сильно усаживаться.



Зависимость термической усадки  $\epsilon_y$  от времени термофиксации  $t_{ТФ}$  пленок из кристаллизующихся полимеров.

Температура термофиксации:

$$T_{ТФ\ 1} < T_{ТФ\ 2} < T_{ТФ\ 3}$$



Зависимость  $\sigma_p$  от степени вытяжки

а – продольной ( $K_1$ ), б - поперечной ( $K_2$ ) при последовательной двухосной ориентации ПЭТФ-пленок;

1 -  $\sigma_p$  в продольном, 2-в поперечном направлении вытяжки

<b>Материал и способ получения</b>	<b>Модуль упругости, ГПа</b>	<b>Разрывная прочность, МПа</b>
<b>Монокристалл ПЭ</b>	240 - 280	13 000
<b>Ориентированные волокна из раствора</b>	60	4000
<b>Сверхориентированное волокно ПЭ</b>	70	400
<b>Предельно ориентированные волокна</b>		
<b>ПП</b>	42	900
<b>ПС изотакт.</b>	12	80
<b>Полиимид</b>	150	1200
<b>Ориентированные ленты из ПО</b>	9	400
<b>Полиэтиленовая пленка</b>	0,6	10 - 12
<b>Прочность С-С связи в основной цепи полимера</b>	-	19000