

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт элементоорганических соединений
им. А.Н. Несмеянова

Лаборатория полимерных материалов

Зав. лаб., заслуженный деятель науки РФ, докт. хим. наук, профессор А. А. Аскадский

119991, Москва В-334, ул. Вавилова, 28.

Телефон: 135-93-98

E-mail: andrey@ineos.ac.ru

04. 03 2017

№ 04

Заключение по физико-механическим свойствам.

1) Удельная ударная вязкость

Первые измерения были проведены при 18⁰C. Для каждого образца проведено по два измерения. Результаты измерений показаны в таблице 1а. Наибольшей ударной вязкостью A обладает образец №2 (величина A составляет 8,9 кДж/м²), наименьшей ударной вязкостью обладает образец №3, величина которой составляет 4 кДж/м². Для образца №2 удельная ударная вязкость по Шарпи с надрезом составляет 5,7 кДж/м² т.е. коэффициент ослабления составляет 5.7/8.9=0.64. В целом величины ударной вязкости показывают, что разрушение при ударе не является хрупким и находится на уровне большого количества полимерных материалов.

Табл. 1а. Удельная ударная вязкость при 18⁰C.

| Номер образца | A, кДж/м ² | Средняя величина A _{ср} , кДж/м ² | A _{ср} , кДж/м ² Tvinson |
|---------------|-----------------------|---|---|
| 1 | 6.9 | 5.1 | ≈5 |
| 2 | 8.9 | 5.7* | |
| 3 | 4.0 | 5.4 | |
| 4 | 5.1 | 4.6 | |
| 5 | 4.6 | 4.6 | |
| 6 | 4.3 | 6.3 | |

* По Шарпи с надрезом

Удельная ударная вязкость при отрицательных температурах.

Измерения были проведены при 0⁰C и при -20⁰C. Для каждого образца проведено по два измерения. Удельная ударная вязкость вычисляется по формуле:

$$A = \frac{E}{bh}$$

где E – энергия, затраченная на разрушение при ударном воздействии, b – ширина образца, h – толщина.

Результаты измерений показаны в таблице 16.

Табл. 16. Значения удельной ударной вязкости при отрицательных температурах.

| Номер образца | Удельная ударная вязкость, A , кДж/м ² | $A_{ср}$, кДж/м ² | $T^{\circ}\text{C}$ | | |
|---------------|---|-------------------------------|---------------------|-----|-----|
| 1 | 4,6 | 6,9 | 7,7 | 6,4 | 0 |
| 2 | 4,3 | 4,0 | | 4,2 | -21 |
| 3 | 6,3 | 5,7 | | 6,0 | -21 |
| 4 | 4,0 | 4,6 | 4,6 | 4,4 | 0 |
| 5 | 4,0 | 5,4 | | 4,7 | -21 |
| 6 | 4,9 | 4,9 | | 4,9 | -21 |

Наибольшей удельной ударной вязкостью обладает образец №1 (величина A составляет 6,4 кДж/м² при 0°C), наименьшей ударной вязкостью обладает образец №2, величина которой составляет 4,2 кДж/м² при -21°C. В целом величины удельной ударной вязкости при отрицательных температурах показывают, что разрушение при ударе не является хрупким и находится на уровне большого количества полимерных материалов. На образце №2 удельная ударная вязкость при отрицательных температурах, имеет значение в два раза ниже, чем при обычных температурах. На остальных образцах значения удельной вязкости при отрицательных температурах и при обычных примерно одинаковы.

2) Прочность при изгибе при 18°C.

Проведено по три измерения для каждого образца на приборе «Динстат» консольном методом. Размеры образцов 10×15×3,5 мм. Прочность при изгибе рассчитывается по формуле $\sigma_{изг} = m \cdot 6 / bh^2$, где m – изгибающий момент (кг·см), b – ширина образца (см), h – толщина образца (см). Результаты измерений показаны в таблице 2. Разброс данных небольшой. Наибольшая средняя величина прочности при изгибе наблюдается для образцов 1 и 3, наименьшая – для образца 4. Показатели прочности при изгибе превышают значения, которые приведены для компаний Террадек и марки Tvinson.

3) Прочность при растяжении при 18°C.

Измерения проводились на универсальной испытательной машине LLOYD Instruments LR5K Plus. Скорость растяжения составляла 50 мм/мин. Кривые растяжения для всех образцов показаны на рис.1. Там же указана предельная деформация при разрыве, значения которой также приведены в

таблице 4. Сами же значения прочности при растяжении показаны в таблице 3.

Табл. 2. Прочность при изгибе

| Номер образца | $\sigma_{изг}$, МПа | | | Средняя величина $\sigma_{изг,ср}$, МПа | $\sigma_{изг}$, МПа, Террадек EVO | $\sigma_{изг}$, МПа, Twinson |
|---------------|----------------------|------|------|--|------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 64,7 | 72,0 | 70,1 | 68,9 | 52 | ≥ 55 |
| 2 | 54,9 | 57,6 | 62,4 | 58,3 | | |
| 3 | 72,0 | 67,2 | 67,2 | 68,8 | | |
| 4 | 63,7 | 54,0 | 54,7 | 57,5 | | |
| 5 | 57,8 | 67,2 | 67,2 | 64,1 | | |
| 6 | 62,7 | 67,2 | 67,2 | 65,7 | | |

Табл. 3. Прочность при растяжении при 18°C.

| Номер образца | σ_p , МПа | | | Среднее значение σ_{cp} , МПа | Модуль упругости при растяжении, Е, МПа | | | Среднее значение E_{cp} , МПа | σ_p , МПа, Террадек EVO | σ_p , МПа, Twinson | E, МПа, Twinson |
|---------------|------------------|------|------|--------------------------------------|---|------|------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1 | 18 | 27 | 29 | 25 | 950 | 2200 | 2300 | 1820 | 26,1 | ≥ 35 | 5500 |
| 2 | 39 | 33,5 | | 38,5 | 2300 | 1900 | | 2100 | | | |
| 3 | 27 | 27 | 40 | 34 | 1800 | 2300 | 2050 | 2050 | | | |
| 4 | 22,2 | 23,9 | 34,6 | 27,4 | 2200 | 2400 | 1550 | 2050 | | | |
| 5 | 32,5 | 41,1 | 23,4 | 32,0 | 2450 | 3400 | 2800 | 2880 | | | |
| 6 | 20,3 | 40,7 | 25,7 | 26,0 | 2500 | 2600 | 2950 | 2680 | | | |

Табл. 4. Предельная деформация при растяжении

| Номер образца | ε_p , % | | | Среднее значение ε_{cp} , % | ε_{cp} , %, Twinson |
|---------------|---------------------|------|------|---|---------------------------------|
| 1 | 2,2 | 2,9 | 2,9 | 2,67 | 1÷10% |
| 2 | 2,55 | 3,2 | | 2,88 | |
| 3 | 1,55 | 2,22 | 2,67 | 2,15 | |
| 4 | 1,92 | 2,54 | 3,04 | 2,50 | |
| 5 | 3,0 | 2,9 | 1,8 | 2,57 | |
| 6 | 1,6 | 3,1 | 1,5 | 2,07 | |

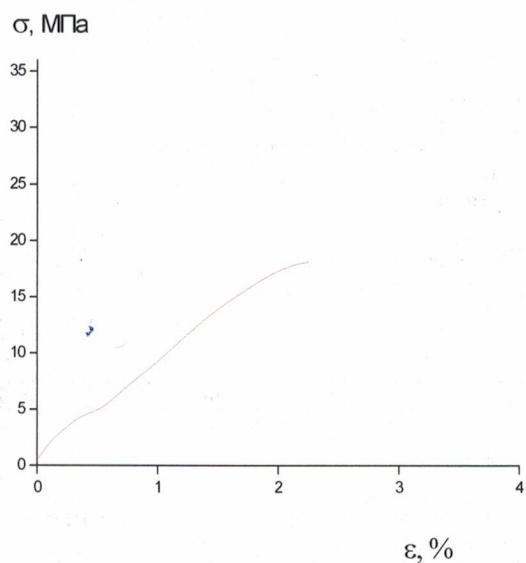
Кривые растяжения не являются прямолинейными. Наибольший наклон кривых растяжения наблюдается на первом участке; дальше при переходе ко второму участку наклон снижается, и это свидетельствует о том, что модуль упругости, который определяется тангенсом угла наклона кривой растяжения к деформации, также снижается по мере деформирования. Такие кривые растяжения характерны для композитов и вообще для твердых полимеров, в которых по мере деформирования нарушается их физическая структура и материал ослабляется.

Кривые растяжения для каждого образца были перестроены в средние кривые, и по ним определялись значения средней прочности при изгибе $\sigma_{ср}$. Также по средним кривым определялся модуль упругости по тангенсу угла наклона начального участка кривой растяжения.

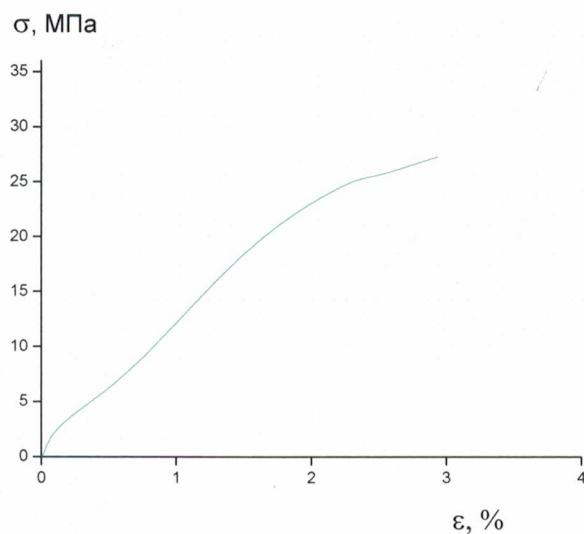
Из таблицы 3 видно, что наибольшей прочностью при растяжении обладает образец №2 а наименьшей – образец №1. Наблюдается существенный разброс в значениях прочности при изгибе в параллельных измерениях, который иногда достигает 50% (например для образцов 5 и 6). Это свидетельствует о том, что образцы являются неоднородными. В целом, величины прочности при растяжении превышают аналогичные значения, приведенные компанией Террадек и примерно одинаковы со значениями марки Twinson. Что касается модуля упругости, то его средние значения лежат в интервале от 1125 до 3000 МПа. Предельная деформация при растяжении показана в таблице 4. Эта величина лежит в пределах от 1,6 до 3,2%, что находится в интервале значений, показанных при испытаниях материала марки Twinson.

РИС. 1

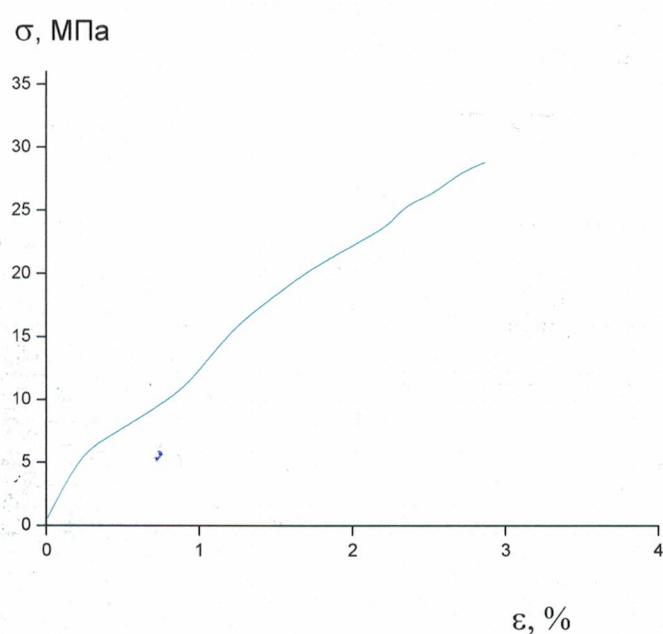
Композиция 1



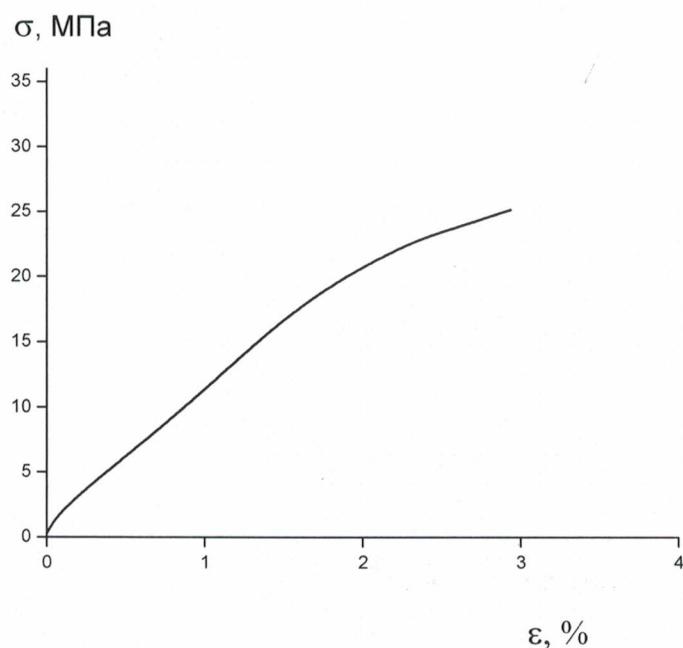
Образец 1 $\sigma_p = 18$ МПа $\varepsilon_p = 2.2\%$



Образец 1 $\sigma_p = 27 \text{ МПа}$ $\varepsilon_p = 2.9\%$

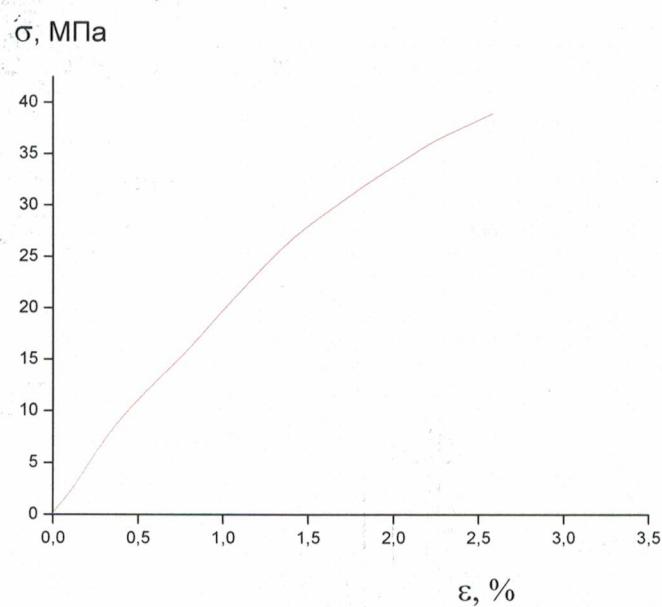


Образец 1 $\sigma_p = 29 \text{ МПа}$ $\varepsilon_p = 2.9\%$

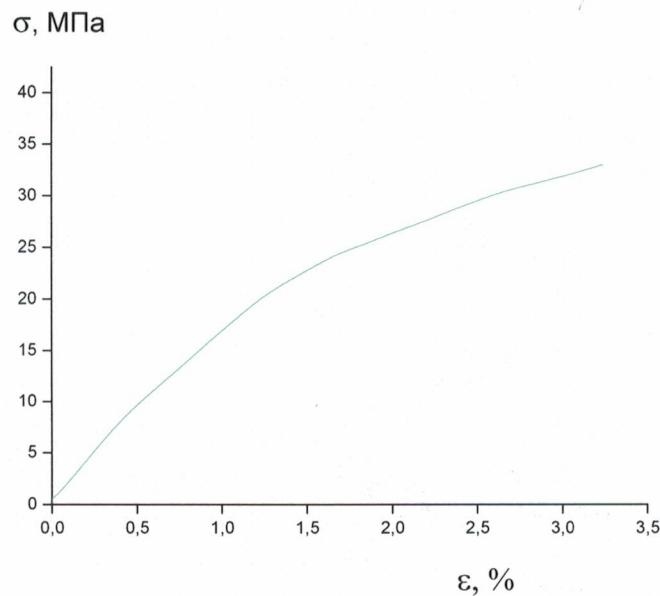


Средняя кривая
Образец 1 $\sigma_p = 25$ МПа $\varepsilon_p = 2.67\%$

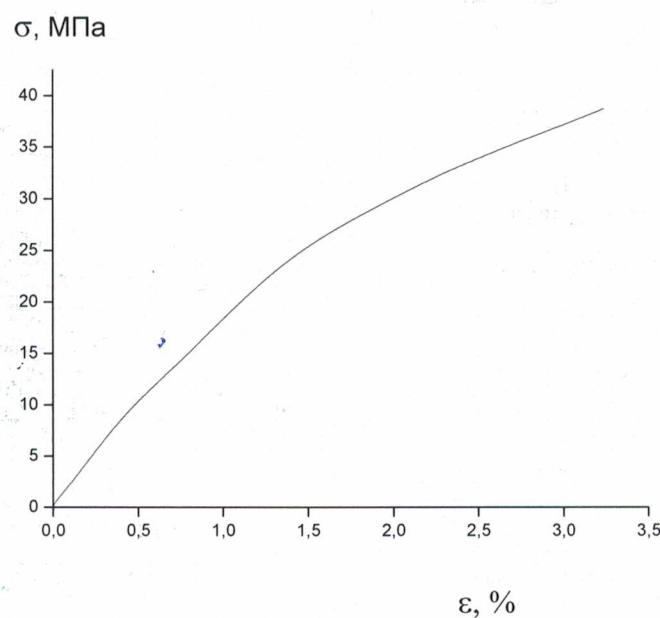
Композиция 2



Образец 2 $\sigma_p = 39$ МПа $\varepsilon_p = 2.55\%$



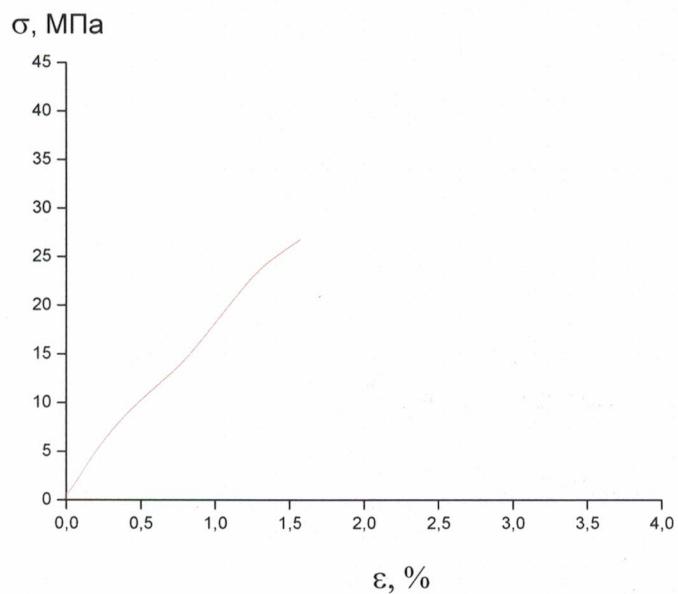
Образец 2 $\sigma_p = 33.5$ МПа $\varepsilon_p = 3.2\%$



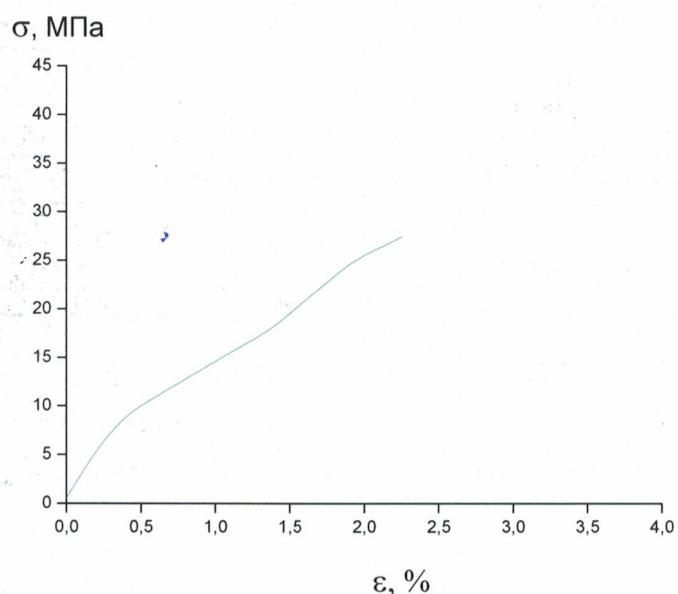
Средняя кривая

Образец 2 $\sigma_p = 38.5$ МПа $\varepsilon_p = 2.88\%$

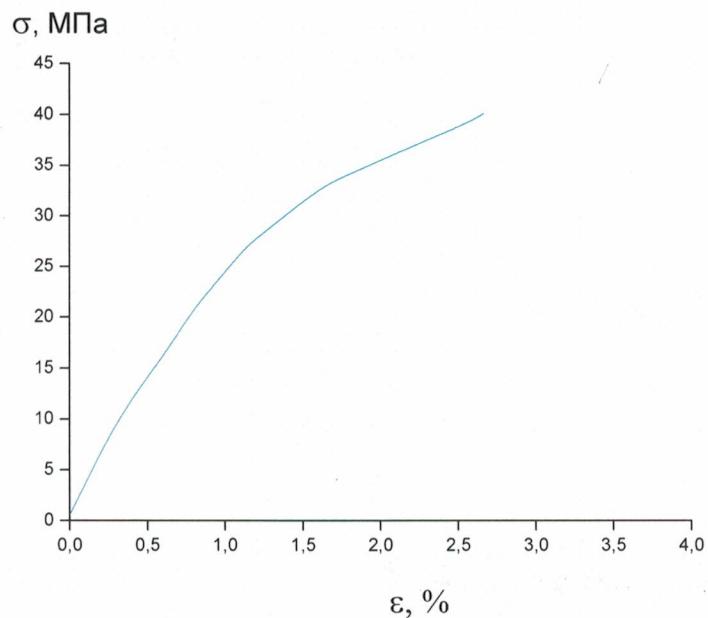
Композиция 3



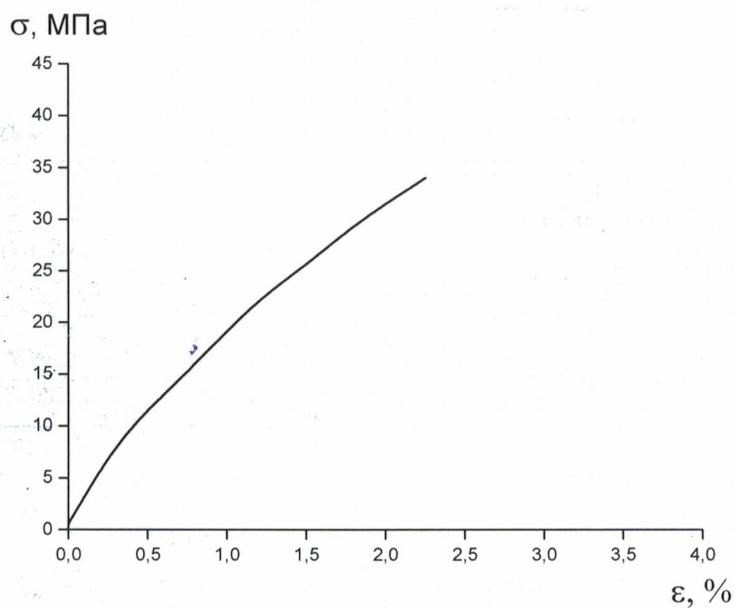
Образец 3 $\sigma_p = 27$ МПа $\varepsilon_p = 1.55\%$



Образец 3 $\sigma_p = 27$ МПа $\varepsilon_p = 2.22\%$

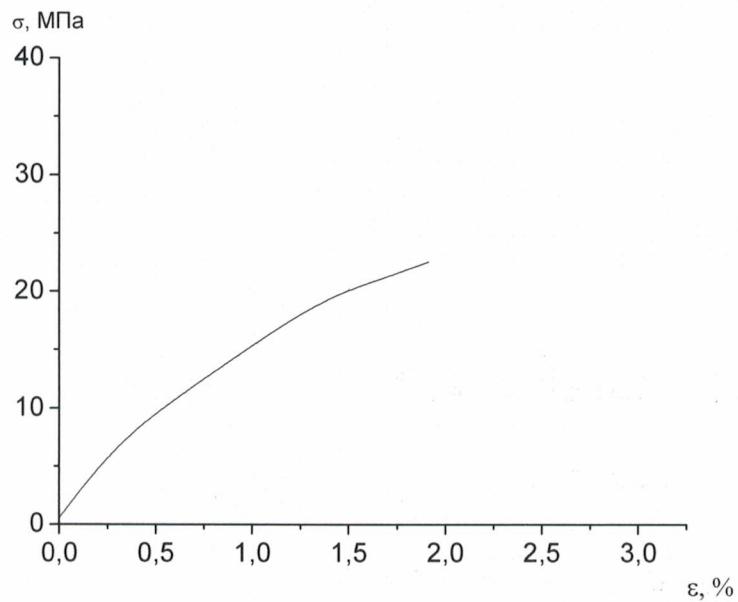


Образец 3 $\sigma_p = 40$ МПа $\varepsilon_p = 2.67\%$

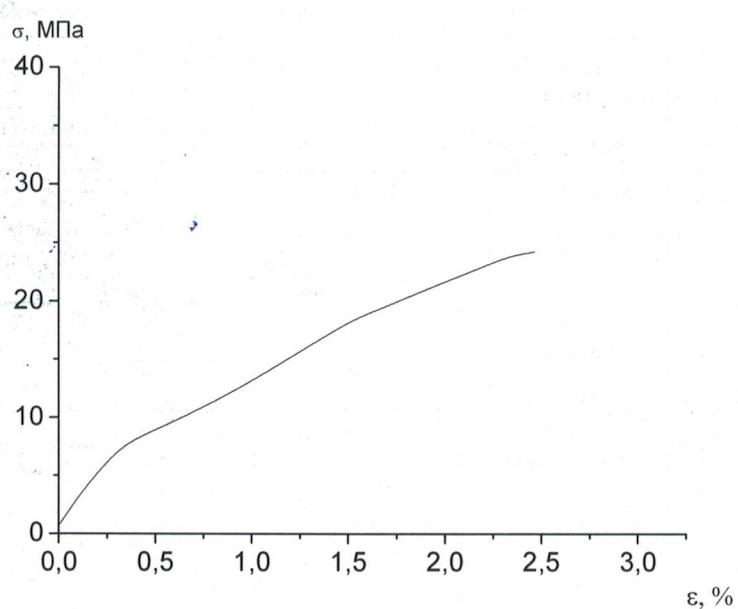


Средняя кривая
Образец 3 $\sigma_p = 34$ МПа $\varepsilon_p = 2.15\%$

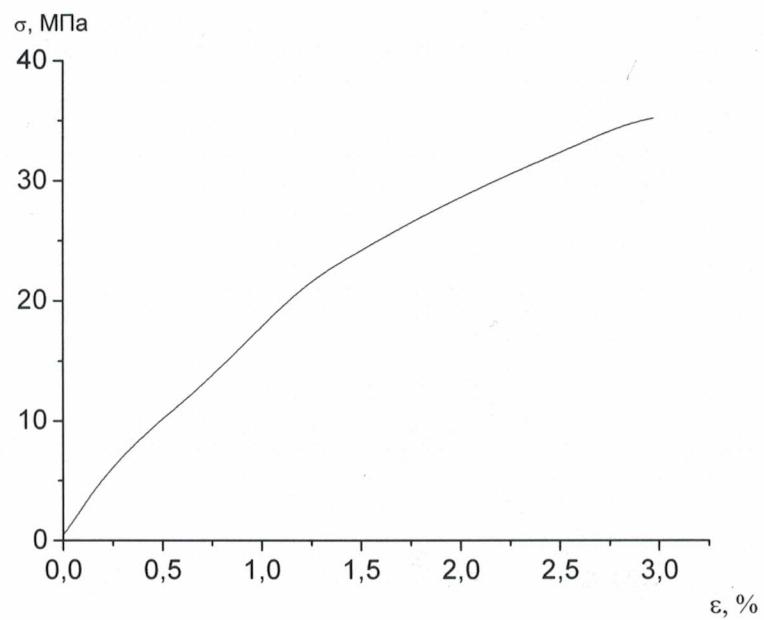
Композиция 4



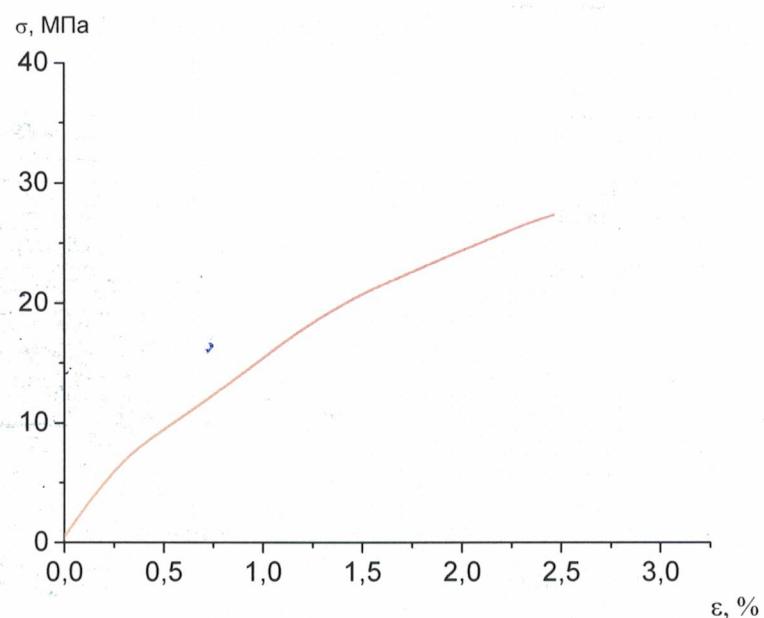
Образец 4: $\sigma_p = 22,6$ МПа $\varepsilon_p = 1,9\%$



Образец 4: $\sigma_p = 24,2$ МПа $\varepsilon_p = 2,5\%$

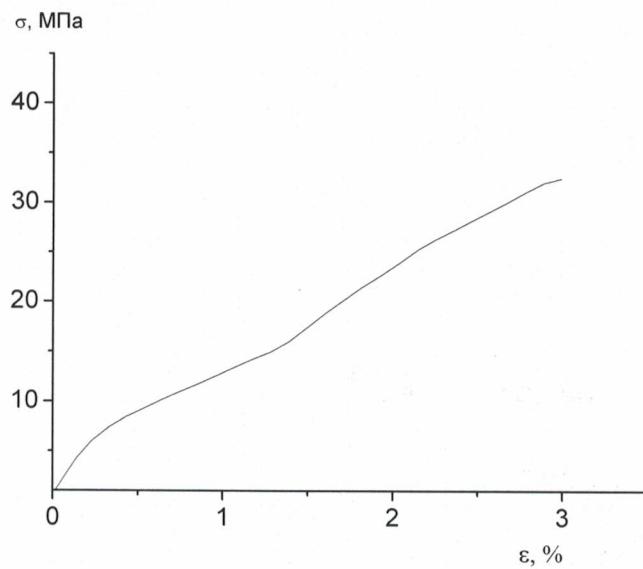


Образец 4: $\sigma_p = 35$ МПа $\varepsilon_p = 2,97\%$

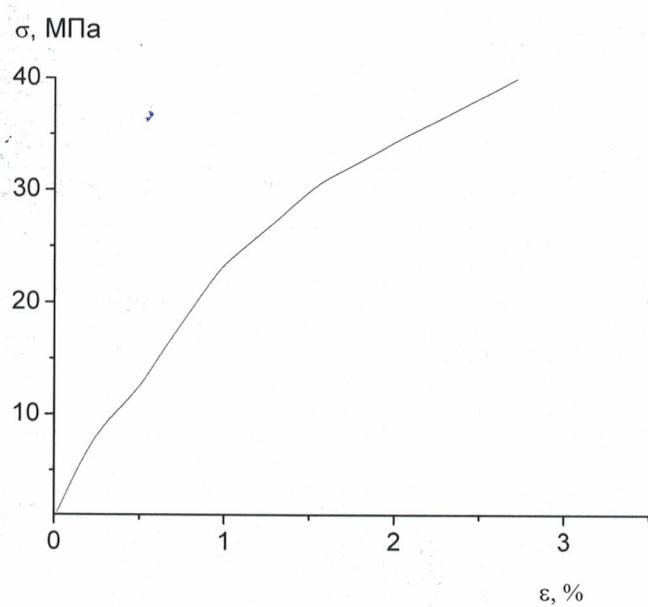


Средняя кривая
Образец 4: $\sigma_p = 27,4$ МПа $\varepsilon_p = 2,50\%$

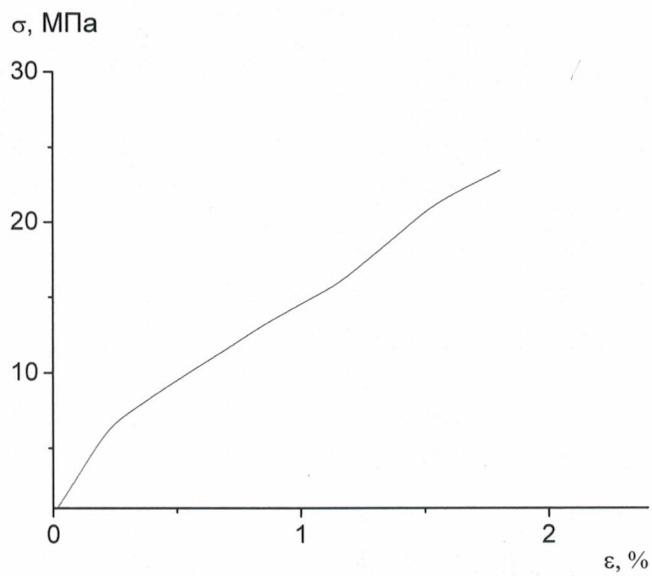
Композиция 5



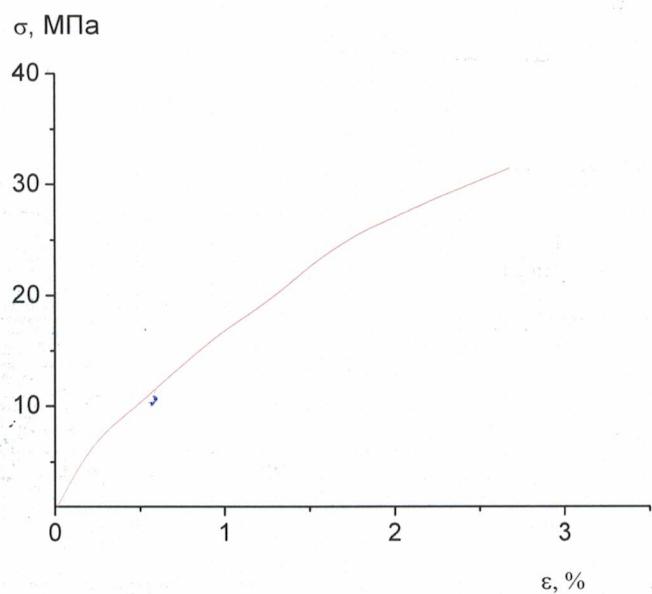
Образец 5: $\sigma_p = 32,5$ МПа $\varepsilon_p = 3\%$



Образец 5: $\sigma_p = 41,1$ МПа $\varepsilon_p = 2,9\%$

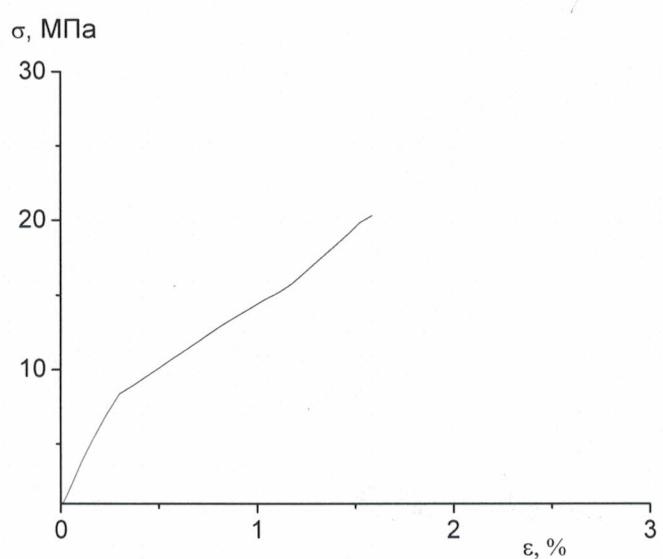


Образец 5: $\sigma_p = 23,4 \text{ МПа}$ $\varepsilon_p = 1,8\%$

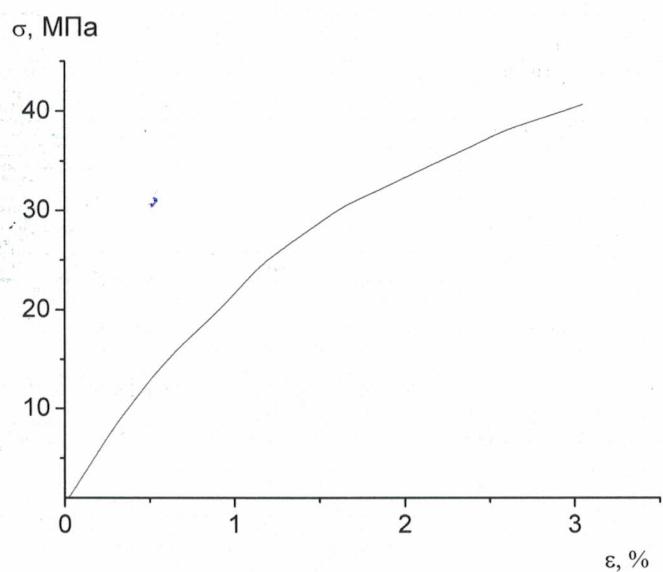


Средняя кривая
Образец 5: $\sigma_p = 32 \text{ МПа}$ $\varepsilon_p = 2,57\%$

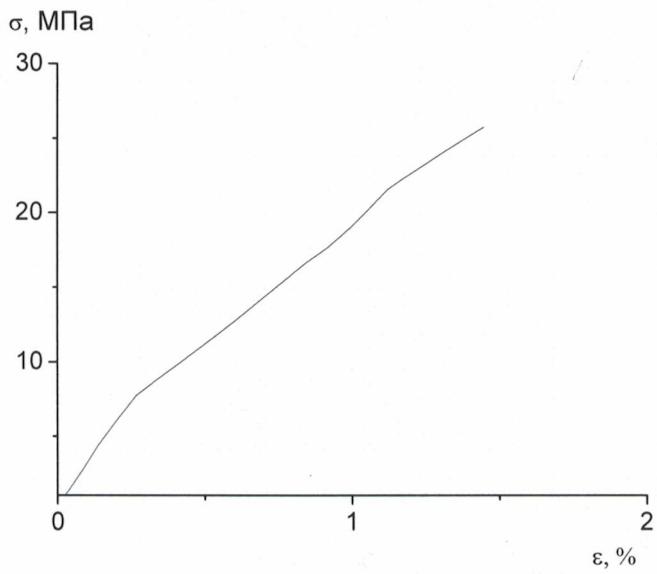
Композиция 6



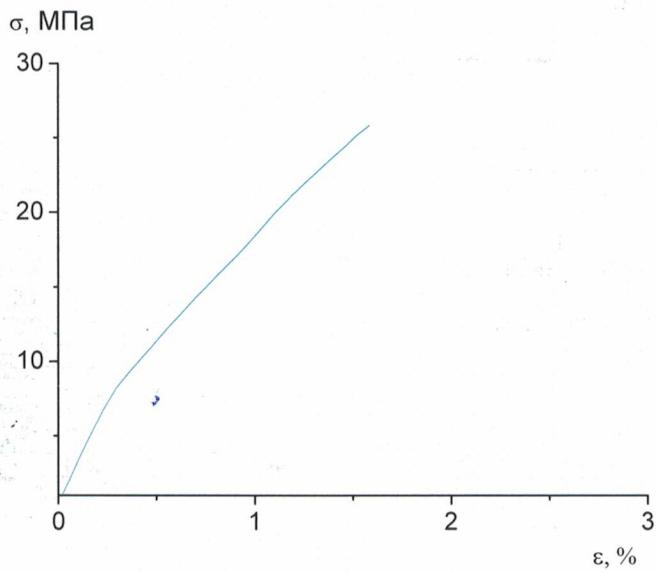
Образец 6: $\sigma_p = 20,3$ МПа $\varepsilon_p = 1,6\%$



Образец 6: $\sigma_p = 40,7$ МПа $\varepsilon_p = 3,1\%$



Образец 6: $\sigma_p = 25,7 \text{ МПа}$ $\epsilon_p = 1,5 \%$



Средняя кривая
Образец 6: $\sigma_p = 26 \text{ МПа}$ $\epsilon_p = 2,07 \%$

Зав. лаб. полимерных
материалов ИНЭОС РАН

А.А. Аскадский

ПОДПИСЬ
УДОСТОВЕРЯЮ
ОТДЕЛ КАДРОВ ИНЭОС РАН

