

Вплив режимів навантаження та зовнішніх факторів на експлуатаційні властивості конструкційних пластмас

Автор: студент VI курсу групи МП-81м **Марченко П.В.**
Керівник: к.т.н. доцент **Шидловський М.С.**

Постановка задачі

Відсутні дані про повзучість та втому конструкційного полікарбонату (ПК). Недостатньо вивчений вплив концентраторів напружень на міцність ПК.

Зміст роботи:

- Вимірювання міцності зразків пластмас з різними типами концентраторів напружень. Аналіз результатів.
- Проведення випробувань зразків пластмас при підвищених та знижених температурах. Аналіз результатів.
- Випробування пластмас на малоциклову втому та повзучість.
- Аналітичне описання результатів випробувань. Застосування методів прогнозування міцності та повзучості.
- Порівняльний аналіз даних випробувань.

Стандартні методи випробувань

ГОСТ 11262-80 Пластмассы. Метод испытания на растяжение

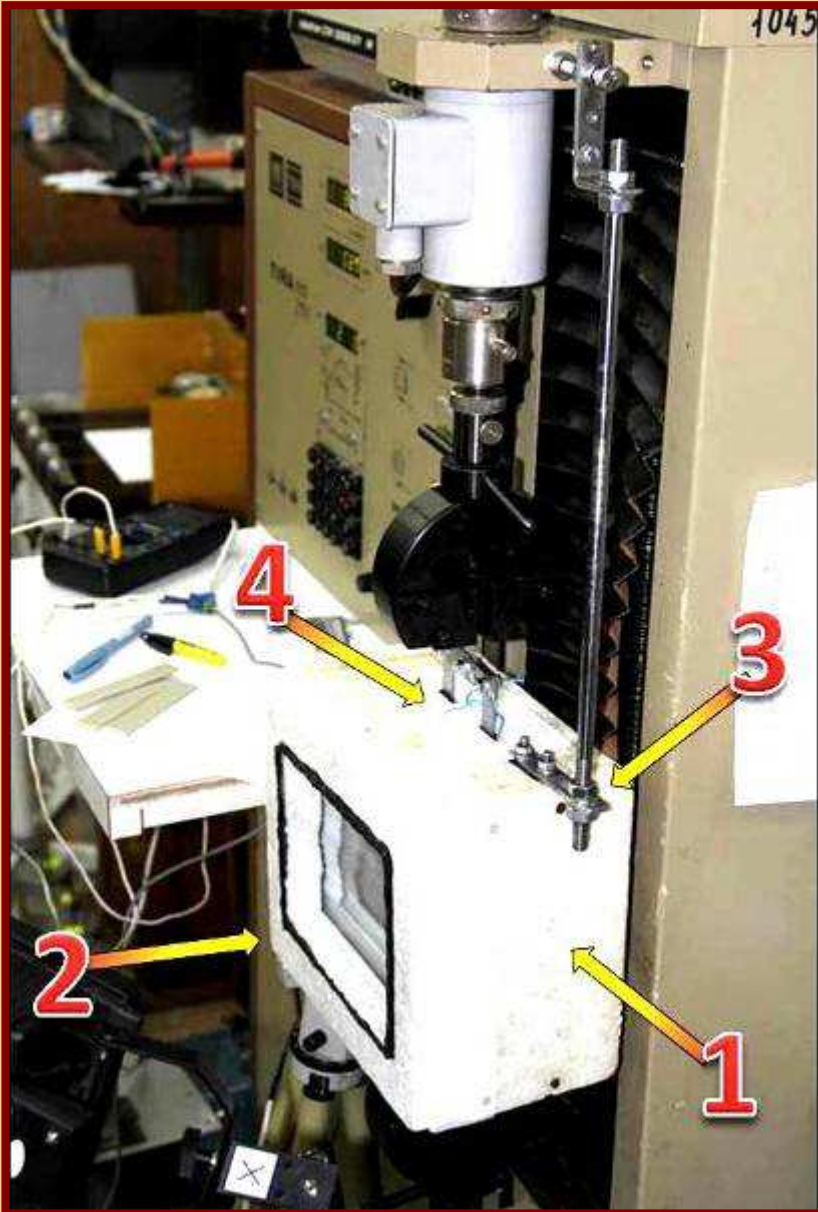
ГОСТ 14359-69 Пластмассы. Методы механических испытаний

Огляд літературних джерел

Автор та назва джерела	Напрацювання
И. Нарисава «Прочность полимерных материалов»	Досліджені структура та властивості пластмас.
Гуль В.Е. «Структура и прочность полимеров»	Вплив зовнішніх факторів на процес руйнування полімерів
Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. «Структура и механические свойства полимеров»	Полімери та їх фізичні властивості. Втома полімерів. Міцність полімерів.
Бокшицкий М.Н. «Длительная прочность полимеров»	Руйнування полімерів при довготривалих навантаженнях
И.Хуго, И.Кабелка та ін. «Конструкционные пластмасы»	Описані механічні властивості пластмас
И.В.Мекалина та ін. «Стойкость авиационных органических стекол к концентраторам напряжений»	Вплив концентраторів напружень на міцність склодібних полімерів

4

Випробувальне обладнання



Загальний вигляд установки для для випробування конструкційних пластмас:

- 1 - корпус холодильної камери;
- 2 - передня оглядова кришка;
- 3 - система кріплення;
- 4 - верхня кришка

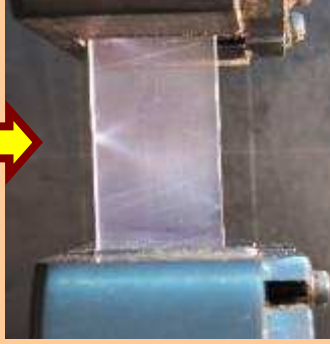
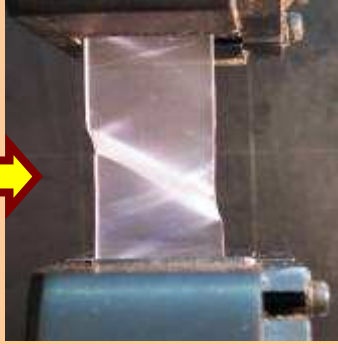
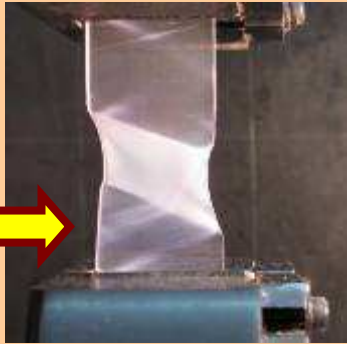
Використання установки:

- випробування зразків на розтяг при різних температурах та швидкостях деформування;
- випробування на мало-циклову втому;
- вимірювання деформацій повзучості.

5

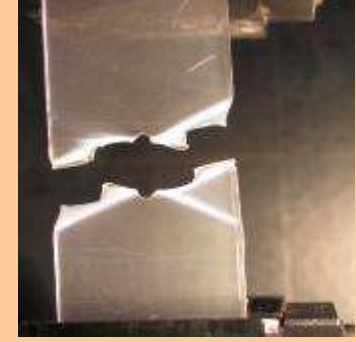
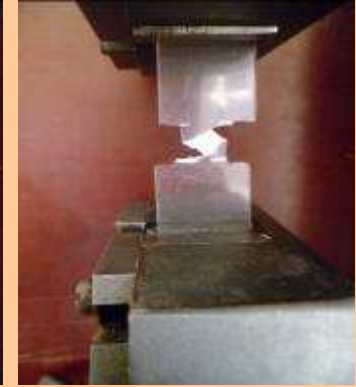
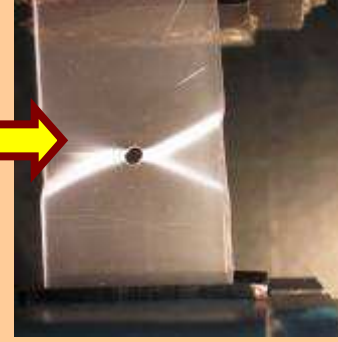
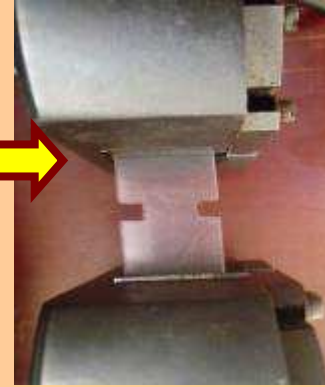
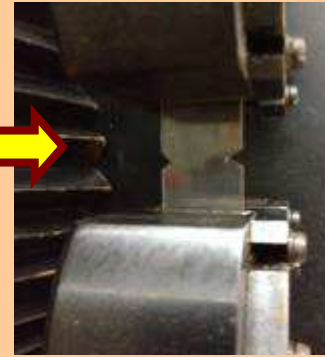
Випробування зразків полікарбонату з різними типами концентраторів напружень

Етапи руйнування зразка без концентратора:



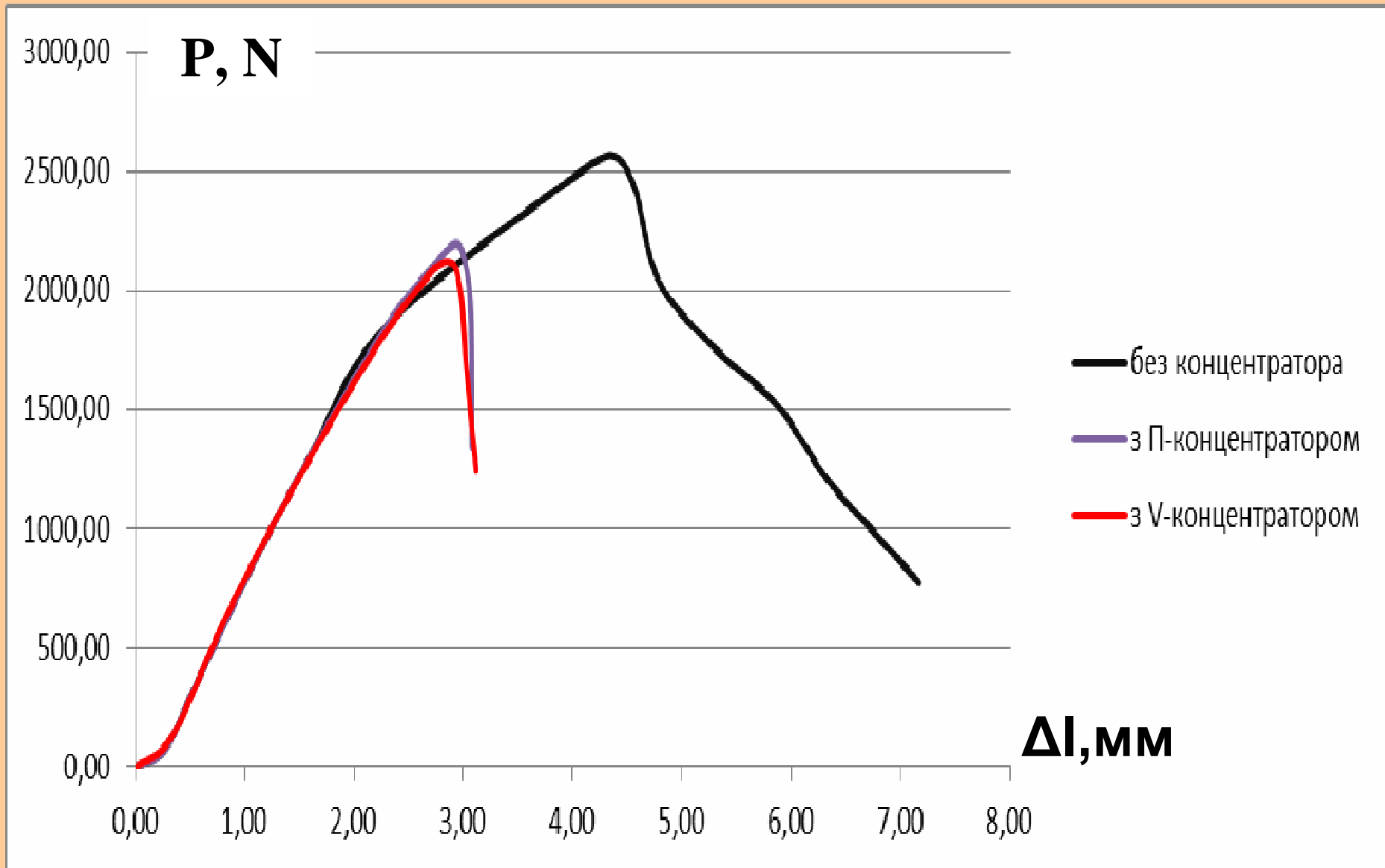
Типи концентраторів:

V – подібний виріз П – подібний виріз Круглий отвір



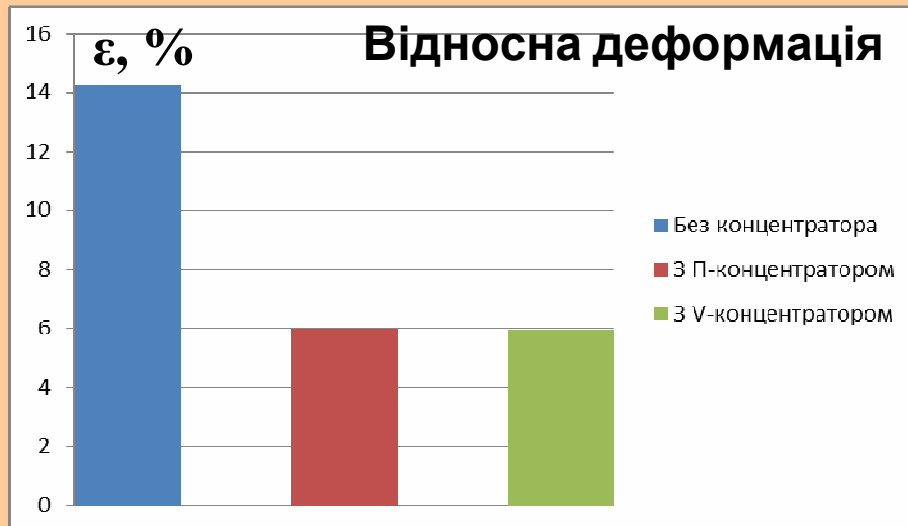
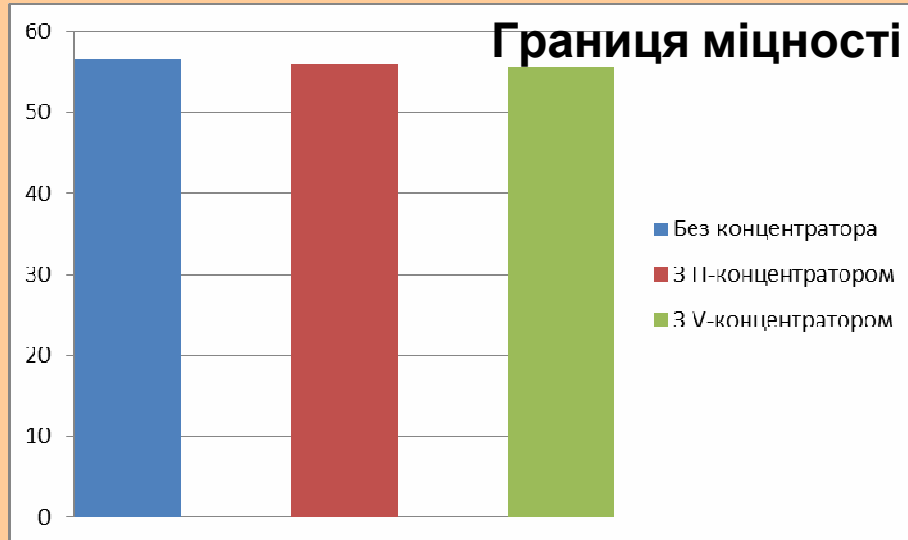
6

Діаграми розтягу зразків ПК з різними типами концентраторів



Вплив концентраторів напружень на міцність полікарбонату

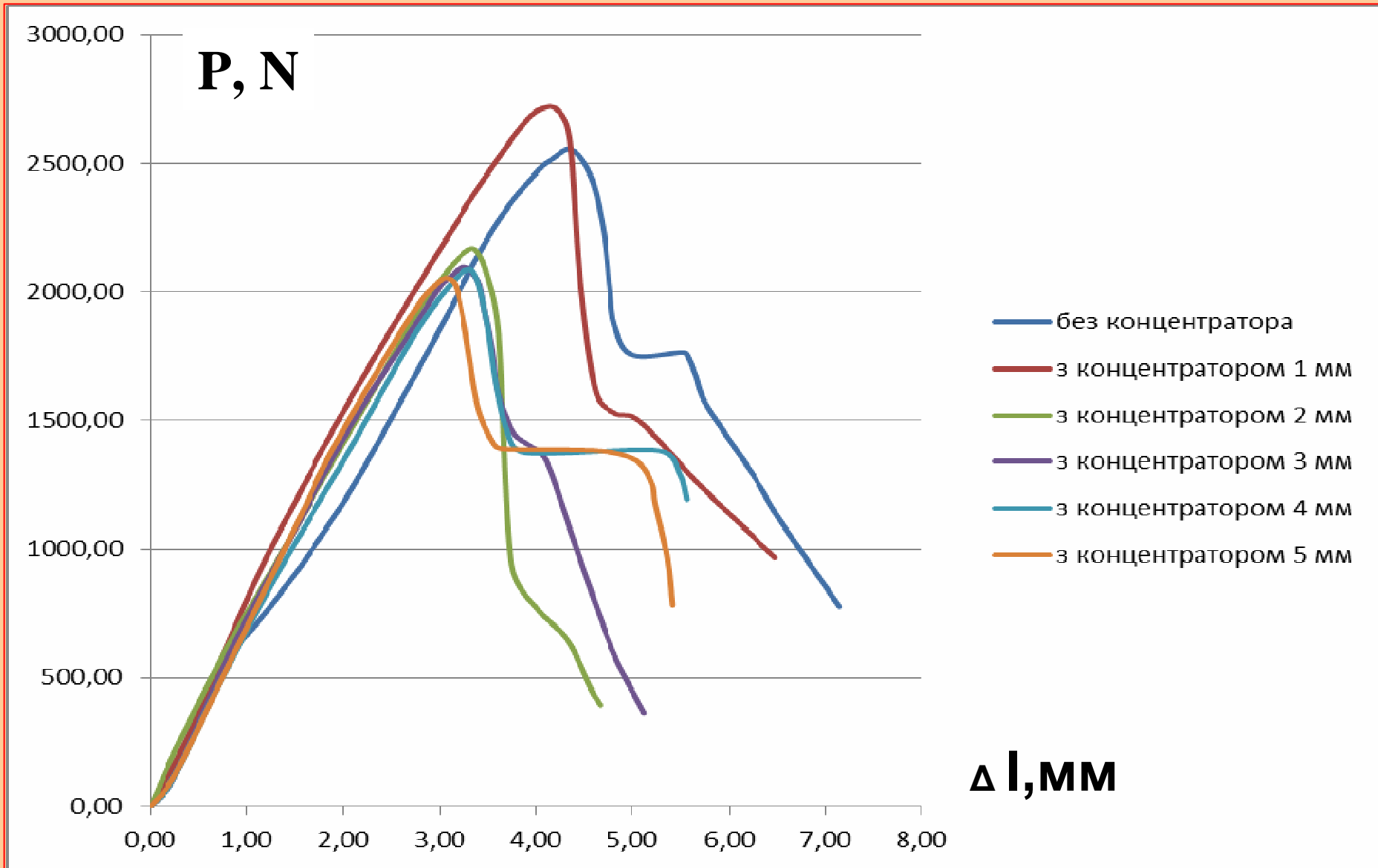
σ , МПа



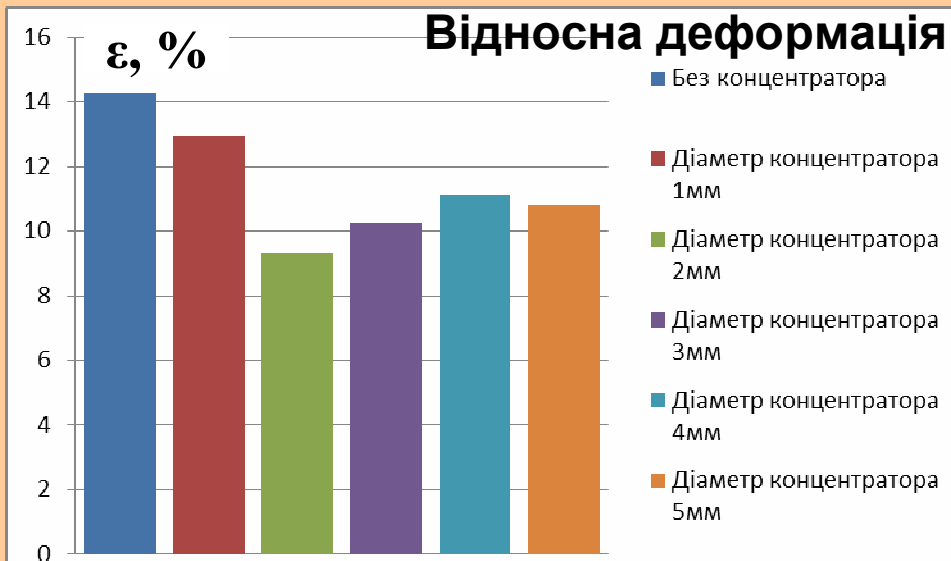
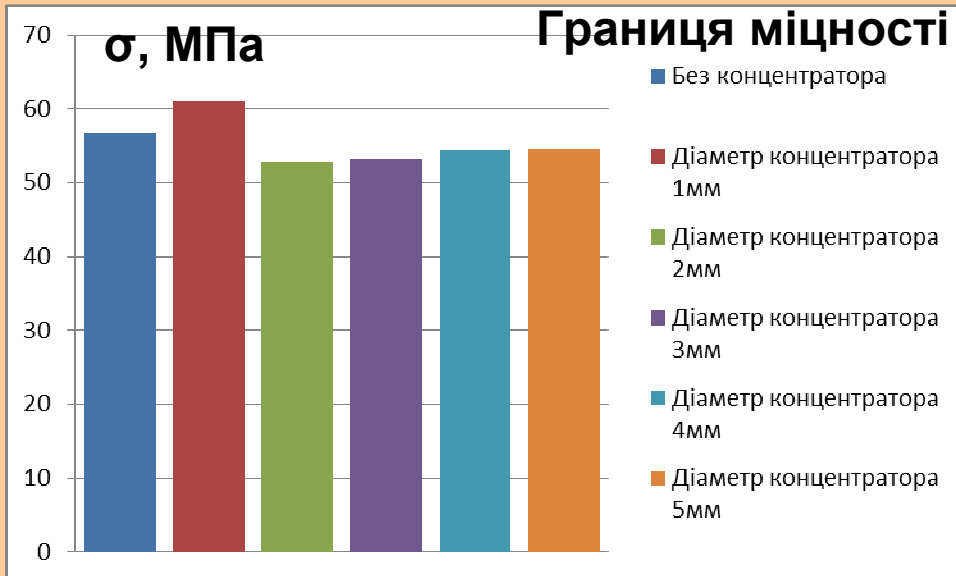
№	$S_{\text{нетто}}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{N/MM}^2$	$\epsilon, \%$
Полікарбонат без концентратора			
1	45,20	56,60	14,40
2	45,30	56,80	13,70
3	45,10	56,40	14,74
Серед.	45,20	56,60	14,28
Полікарбонат з П-концентратором			
4	34,60	56,52	5,96
5	35,21	56,17	6,00
6	34,80	55,56	5,96
Серед.	34,87	56,08	5,96
Зміна, %	-	- 0.9	- 58.3
Полікарбонат з V-концентратором			
7	36,30	55,77	5,76
8	36,90	54,92	5,87
9	36,11	55,95	5,77
Серед.	35,47	55,56	5,93
Зміна, %	-	- 1.8	- 58.4

8

Діаграми розтягу зразків ПК з різними діаметрами отворів



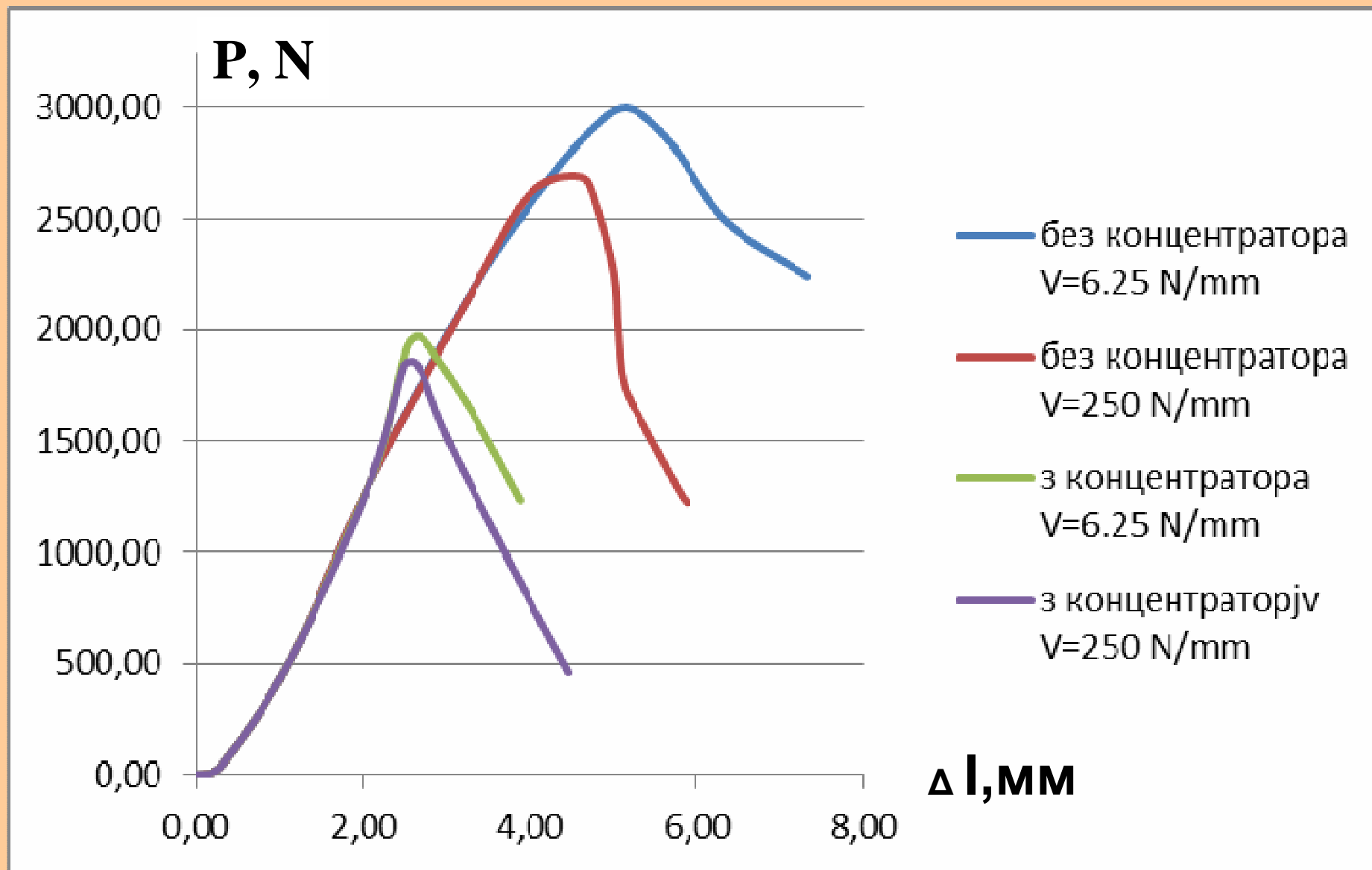
Вплив діаметра отвору на міцність зразків із полікарбонату



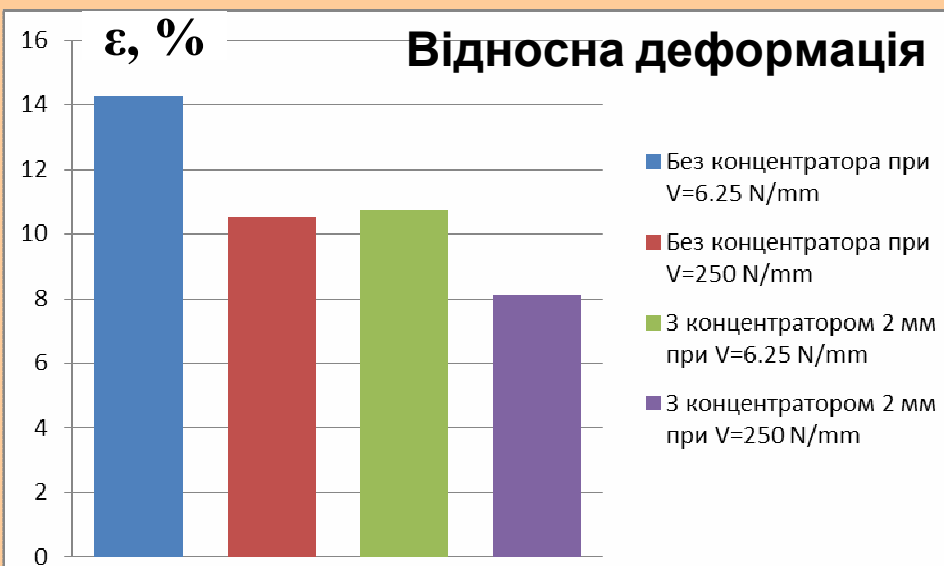
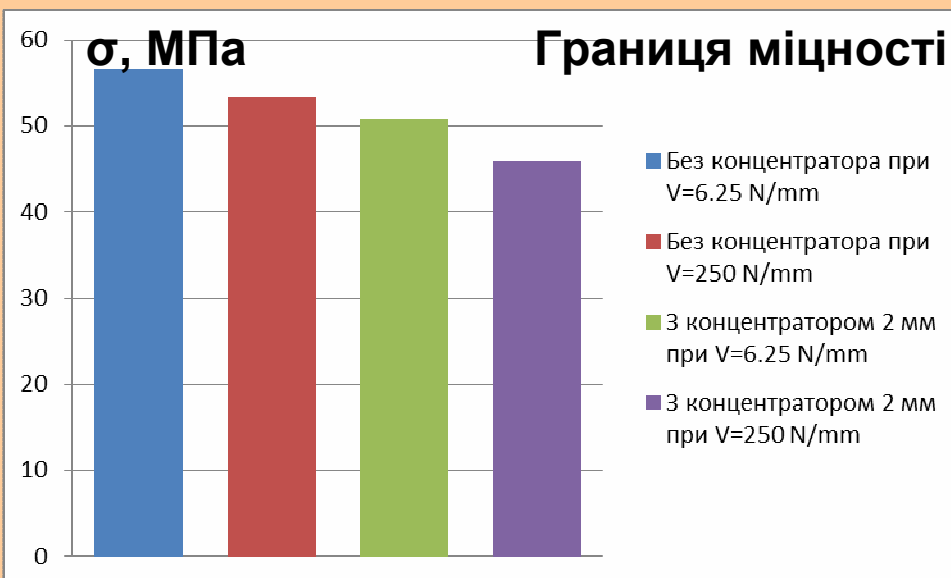
№	$S_{нетто}$	$\sigma_{в},$ N/мм ²	ϵ , %
Полікарбонат без концентратора			
1	45,20	56,60	14,40
2	45,30	56,80	13,70
3	45,10	56,40	14,74
Серед.	45,20	56,60	14,28
Полікарбонат з \varnothing отвору 2 мм			
4	40,35	53,00	9,15
5	41,00	52,35	9,21
6	41,50	53,3	9,60
Серед.	40,95	52,88	9,32
Зміна, %	-	- 6,6	- 34,7
Полікарбонат з \varnothing отвору 5 мм			
7	38,70	54,06	10,10
8	36,90	55,50	11,80
9	37,50	54,00	10,56
Серед.	37,70	54,52	10,82
Зміна, %	-	- 3,7	- 24,2

10

Діаграми розтягу зразків з полікарбонату при різних швидкостях деформування

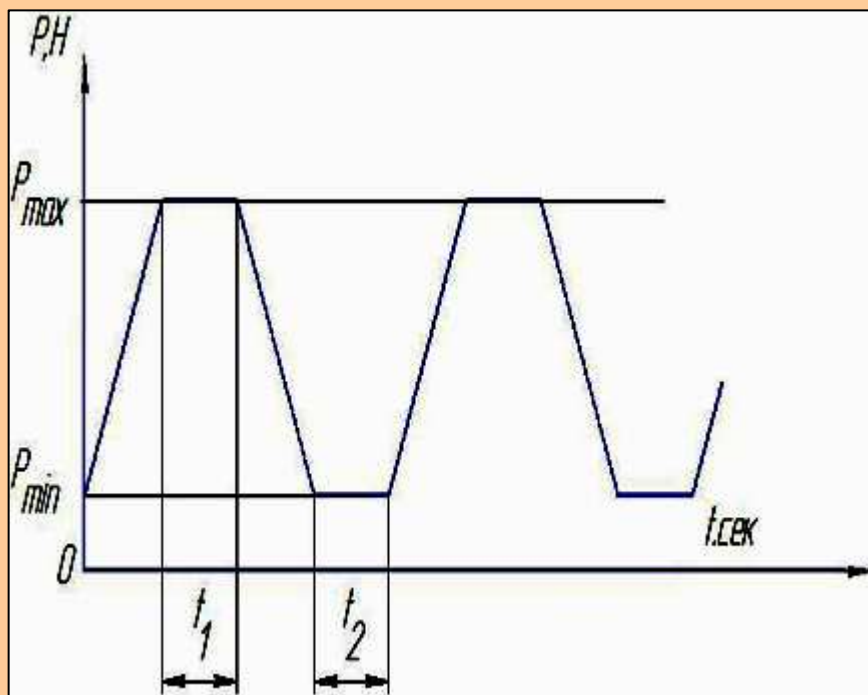


Вплив швидкості деформування на міцність зразків



№	S _{нетто}	σ _B , N/mm ²	ε, %
Полікарбонат без концентратора при V=6,25 N/mm			
1	45,20	56,60	14,40
2	45,30	56,80	13,70
3	45,10	56,40	14,74
Серед.	45,20	56,60	14,28
Полікарбонат без концентратора при V=250 N/mm			
4	45,20	53,50	9,97
5	44,60	52,18	11,00
6	45,20	54,1	10,65
Серед.	45,00	53,26	10,54
Зміна, %	-	- 5,9	-26,2
Полікарбонат з ø отвору 2 мм при V=6,25 N/mm			
7	40,40	50,60	10,50
8	40,70	51,10	10,52
9	40,40	50,70	11,20
Серед.	40,50	50,80	10,74
Зміна, %	-	- 10,2	- 24,8
Полікарбонат з ø отвору 2 мм при V=250 N/mm			
10	40,30	45,86	8,10
11	40,80	46,30	8,20
12	40,40	45,60	8,00
Серед.	40,50	45,92	8,10
Зміна, %	-	- 18,9	- 43,3

Випробування зразків на малоциклову втому



P_{\max} — максимальна діюча сила

P_{\min} — мінімальна діюча сила

t_1 — час перебування зразка під дією сили P_{\max}

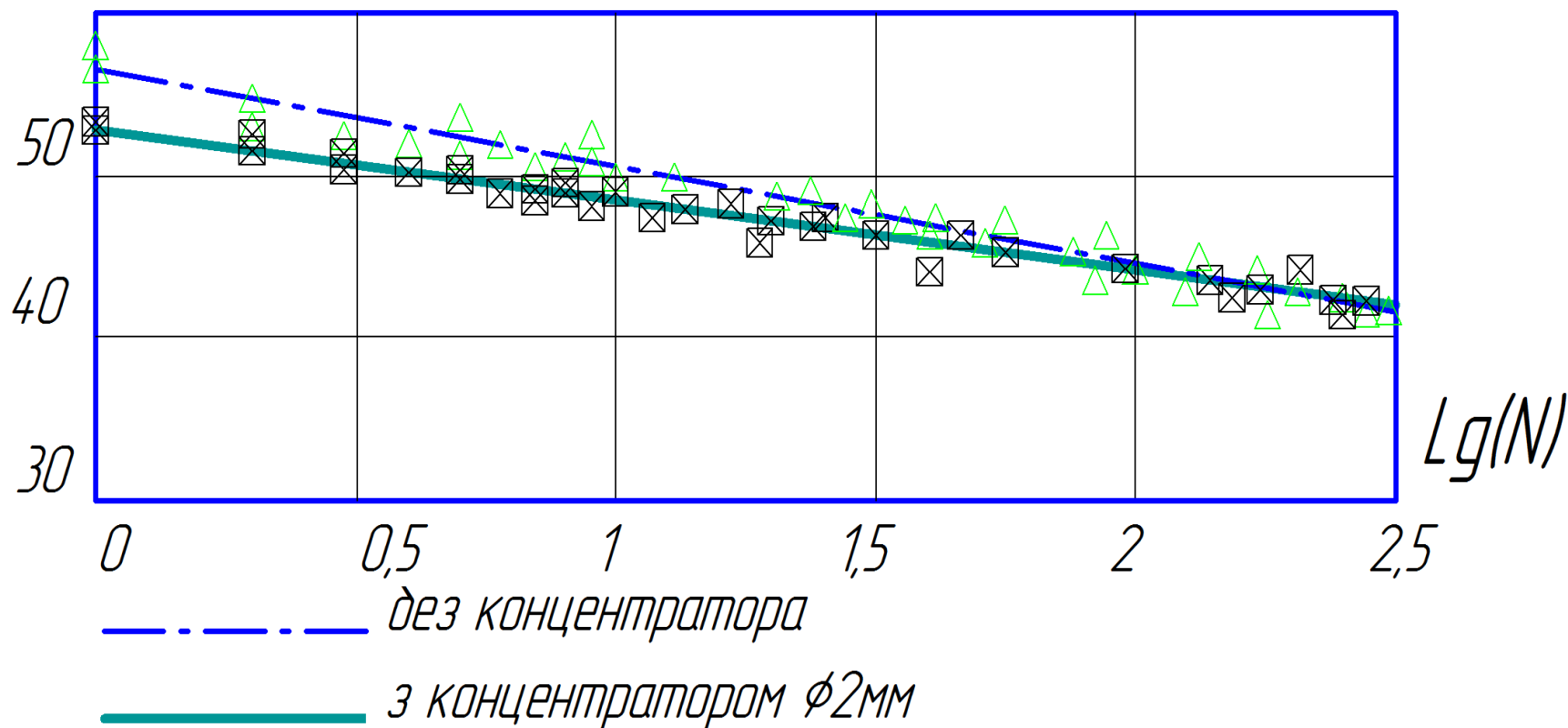
t_2 — час перебування зразка під дією сили P_{\min}

Без концентратора			З концентратором Ø 2 мм		
σ , МПа	N циклів	Lg(N)	σ , МПа	N, циклів	Lg(N)
56.60	0	0.00	52.88	0	0.00
53.75	5	0.70	50.47	3	0.48
52.41	6	0.78	49.88	5	0.70
51.37	5	0.70	48.53	7	0.85
50.00	10	1.00	48.17	9	0.95
48.33	30	1.48	46.89	24	1.38
46.99	76	1.88	45.27	56	1.75
42.80	124	2.09	44.26	95	1.98
42.80	204	2.31	42.93	175	2.24
41.62	307	2.48	42.27	251	2.38

13

Порівняння діаграм залежності зразків з концентратором і без

σ, МПа

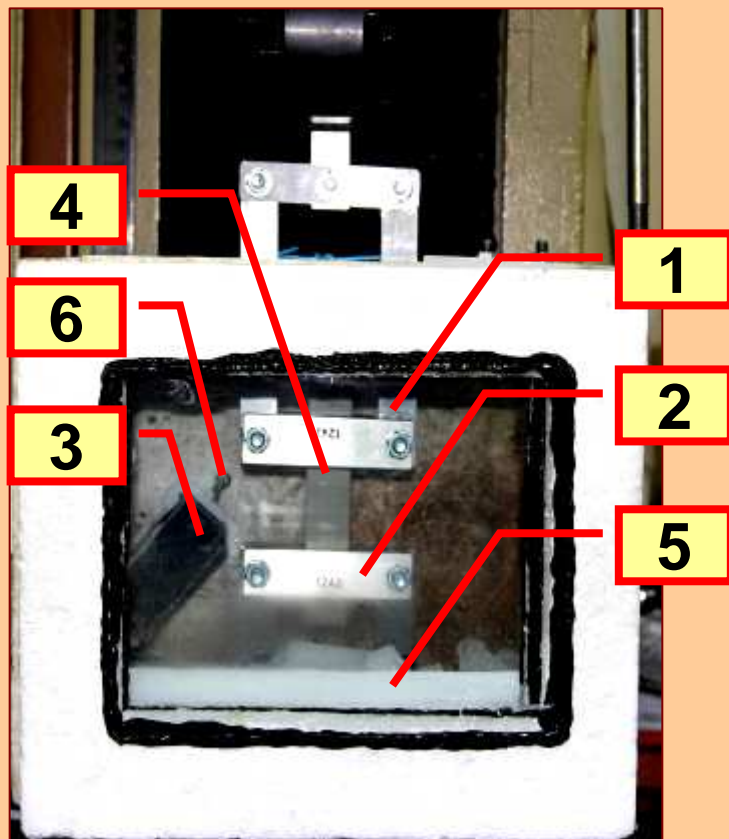


$$\log(N) = 12.19 - 0.23 \cdot \sigma - \text{з концентратором}$$

$$\log(N) = 9.50 - 0.16 \cdot \sigma - \text{без концентратора}$$

14

Кріокамера та її складові для випробування зразків при знижених температурах

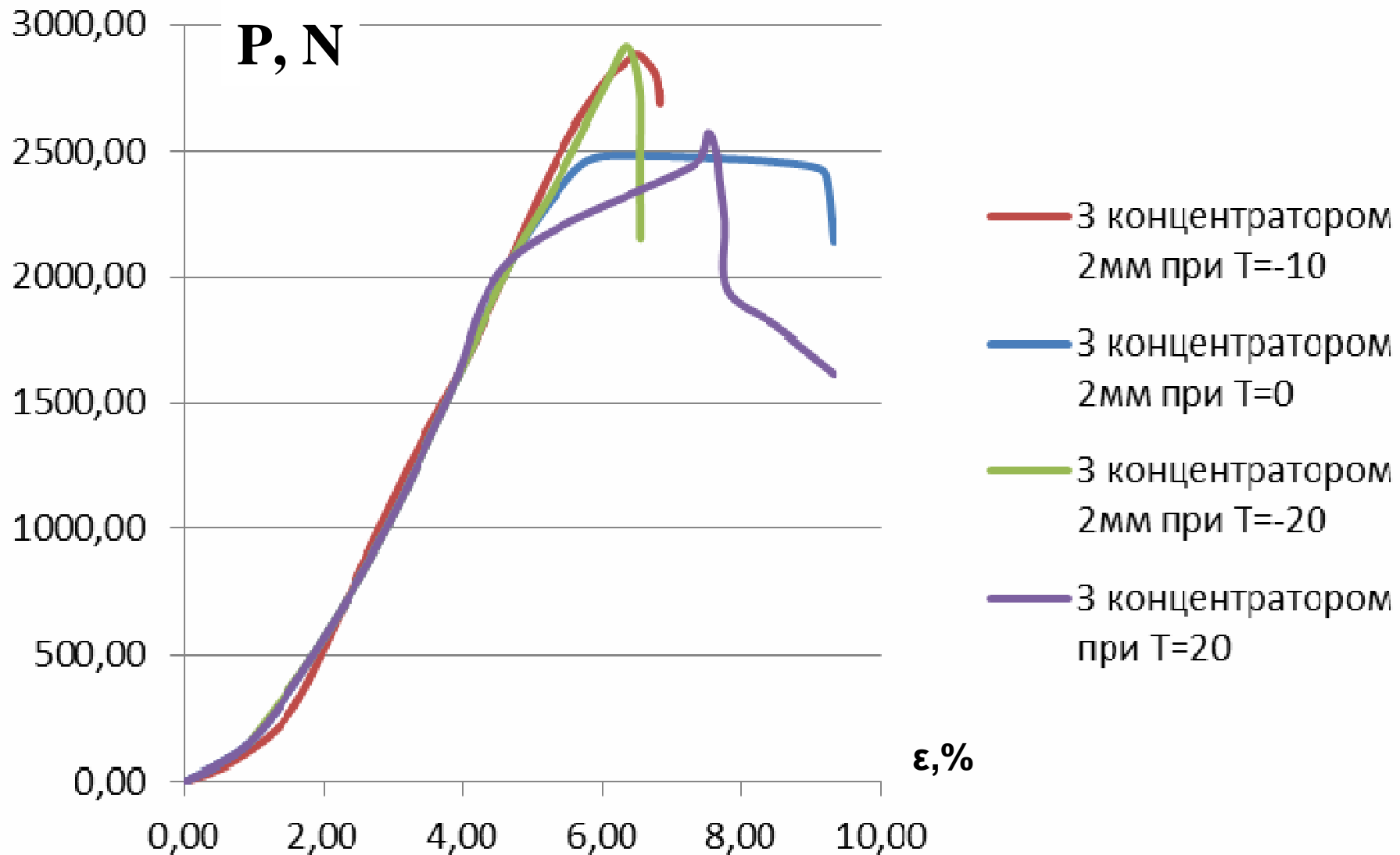


Камера для випробувань зразків при знижених температурах:

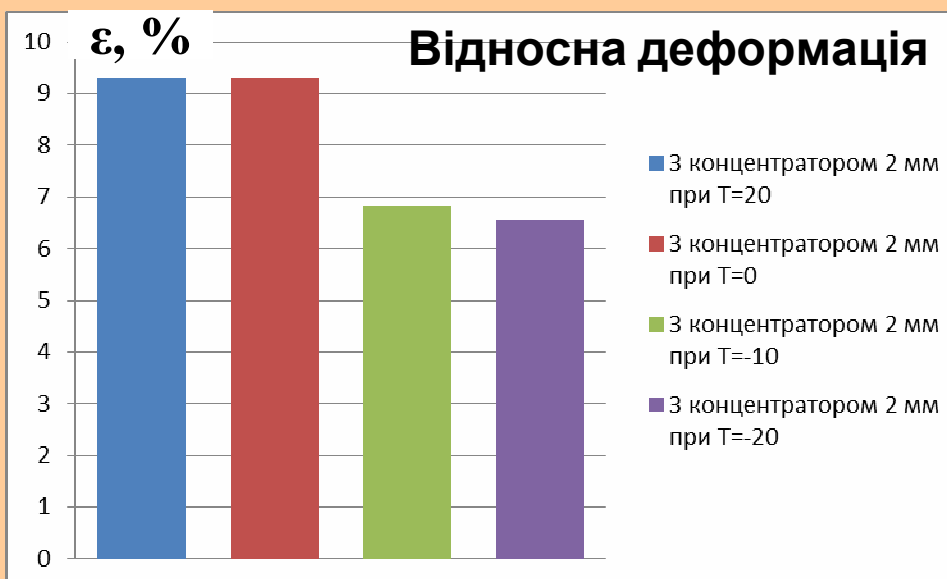
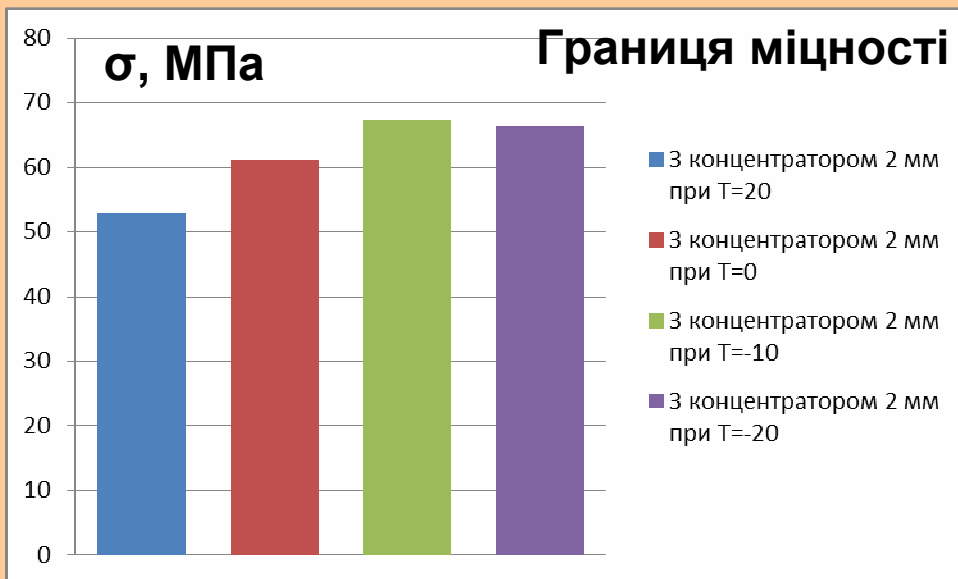
- 1 - верхній нерухомий затискувач;
- 2 - нижній рухомий затискувач;
- 3 - вентилятор;
- 4 - зразок;
- 5 - охолоджувальна речовина (сухий лід);
- 6 - вимірювач температури (термопара)

15

Діаграма розтягу зразків з концентратором діаметром 2 мм при знижених температурах



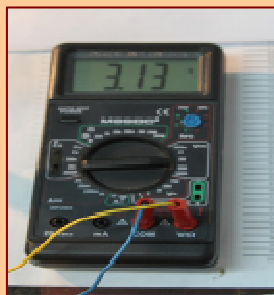
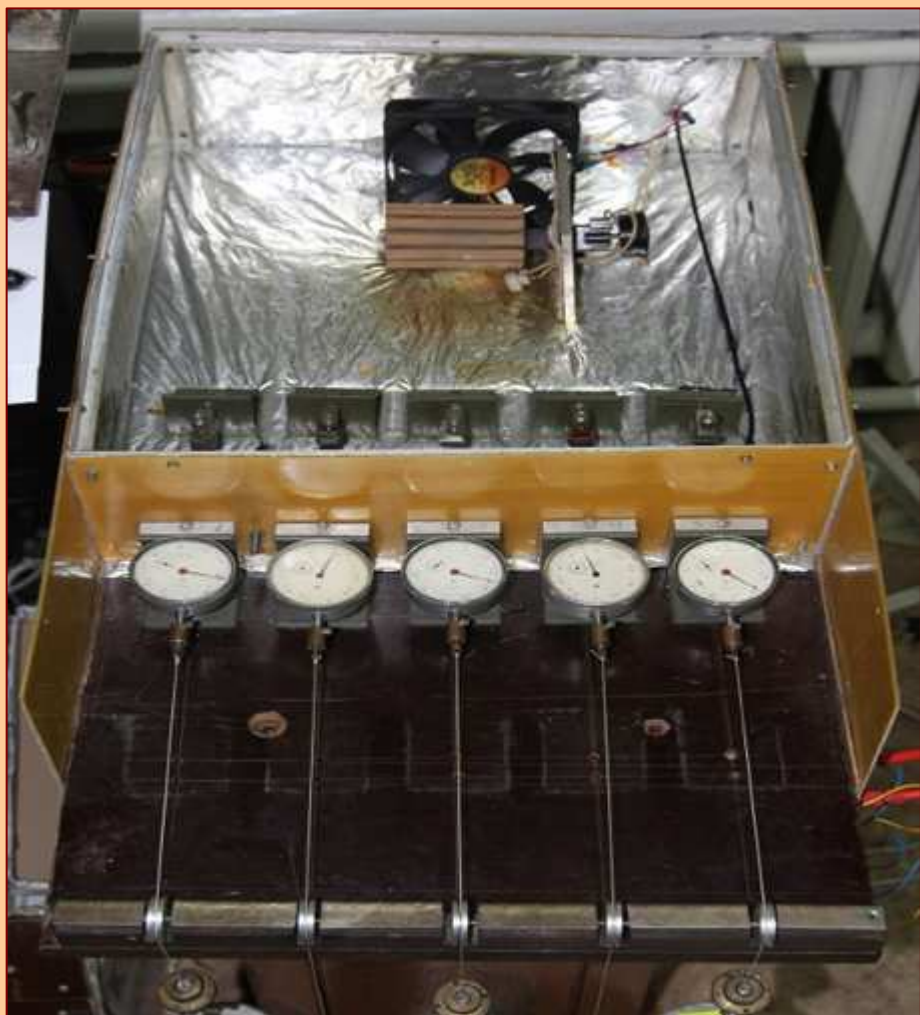
Випробування при знижених температурах



№	S _{нетто}	σ _B , N/мм ²	ε, %
Полікарбонат з ø отвору 2 мм при T=20(±3)⁰ C			
1	40,35	53,00	9,15
2	41,00	52,35	9,21
3	41,50	53,30	9,60
Серед.	40,95	52,88	9,32
Полікарбонат з ø отвору 2 мм при T=0(±1)⁰ C			
4	40,50	61,52	9,00
5	40,60	60,90	9,40
6	40,73	61,00	9,53
Серед.	40,61	61,14	9,31
Зміна, %	-	+15,62	-0,11
Полікарбонат з ø отвору 2 мм при T=-10(±1)⁰ C			
7	43,20	67,00	6,99
8	42,80	67,40	7,20
9	42,52	67,50	6,30
Серед.	42,84	67,30	6,83
Зміна, %	-	+27,27	--26,72
Полікарбонат з ø отвору 2 мм при T=-20(±1)⁰ C			
10	43,70	65,40	6,40
11	44,20	66,50	6,50
12	43,80	67,24	6,78
Серед.	43,90	66,38	6,56
Зміна, %	-	+25,53	-29,61

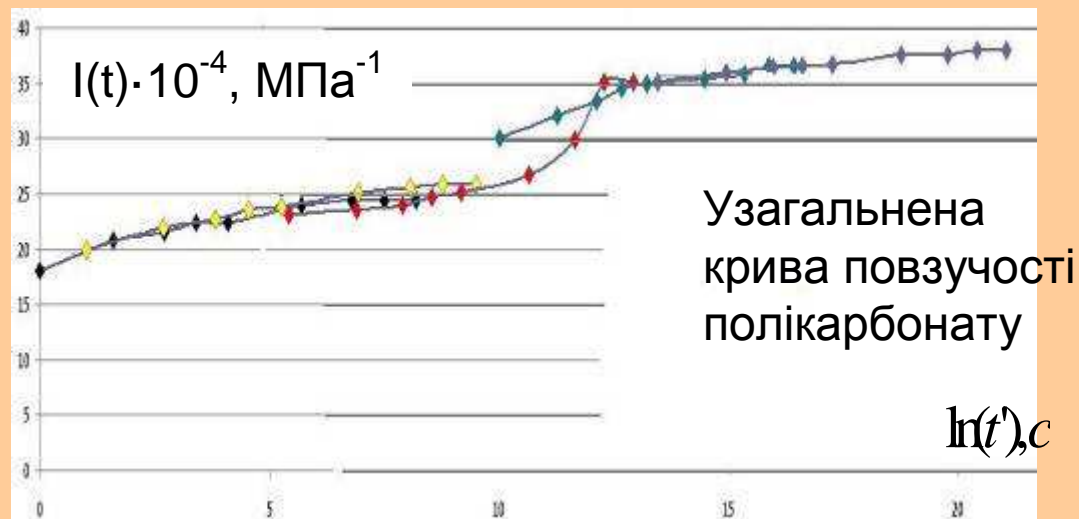
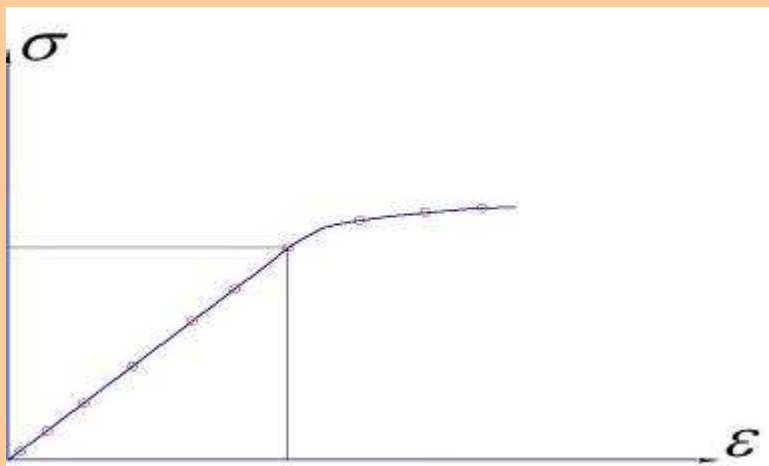
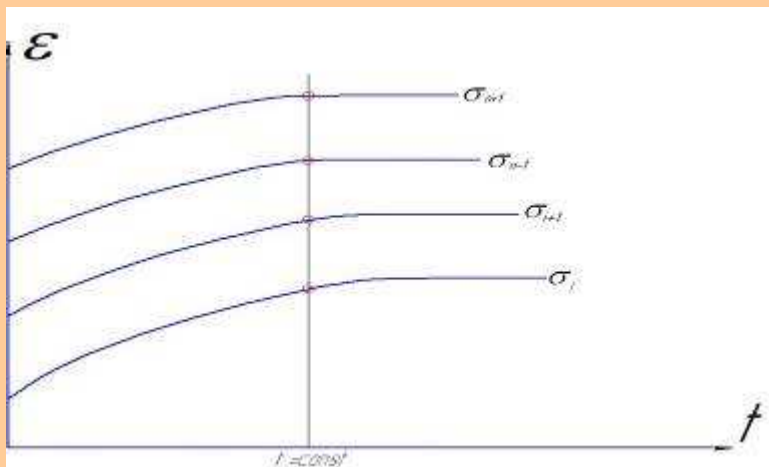
17

Установка для випробувань зразків на повзучість



Аналізування результатів випробувань

$$I(t) = \varepsilon(t) / \sigma_K$$



Час сек	Ln(t)	σ_K МПа	Температури				
			$T_0 = 23^{\circ}C$	$T_1 = 40^{\circ}C$	$T_2 = 60^{\circ}C$	$T_3 = 70^{\circ}C$	$T_3 = 80^{\circ}C$
1	0,000	5,56	17,986	19,984	23,181	30,376	34,372
5	1,609	5,56	20,783	21,982	23,581	32,374	35,171
15	2,708	5,56	21,582	22,782	23,980	33,571	35,571
30	3,401	5,56	22,382	23,581	24,780	34,772	35,971
60	4,094	5,56	22,382	23,981	25,180	35,171	36,771
300	5,704	5,56	23,980	25,180	26,779	35,571	36,771
900	6,802	5,56	24,380	25,580	29,976	35,971	36,771
1800	7,496	5,56	24,380	25,979	35,171	36,771	37,170
3600	8,189	5,56	24,380	25,979	35,171	36,771	37,170

19

Апроксимація кривих повзучості

Функція Вільямса-Ландела-Феррі для розрахунку приведенного часу

$$\ln a_T(T) = \frac{a(T - T_0)}{b + (T - T_0)}, \quad T_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$a = 119, \quad b = 660$$

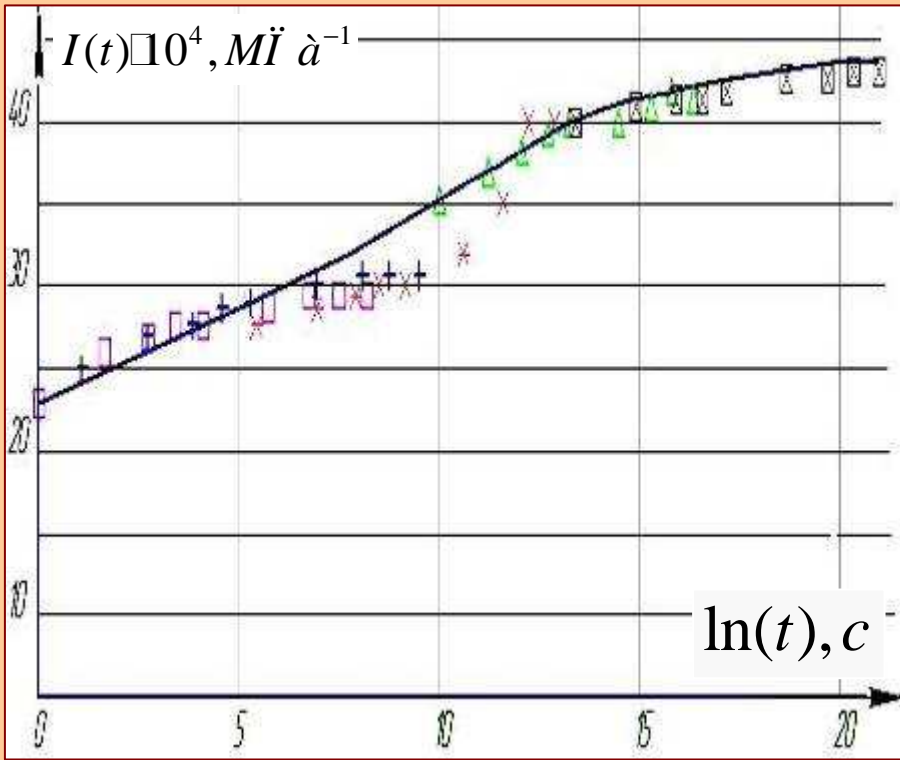
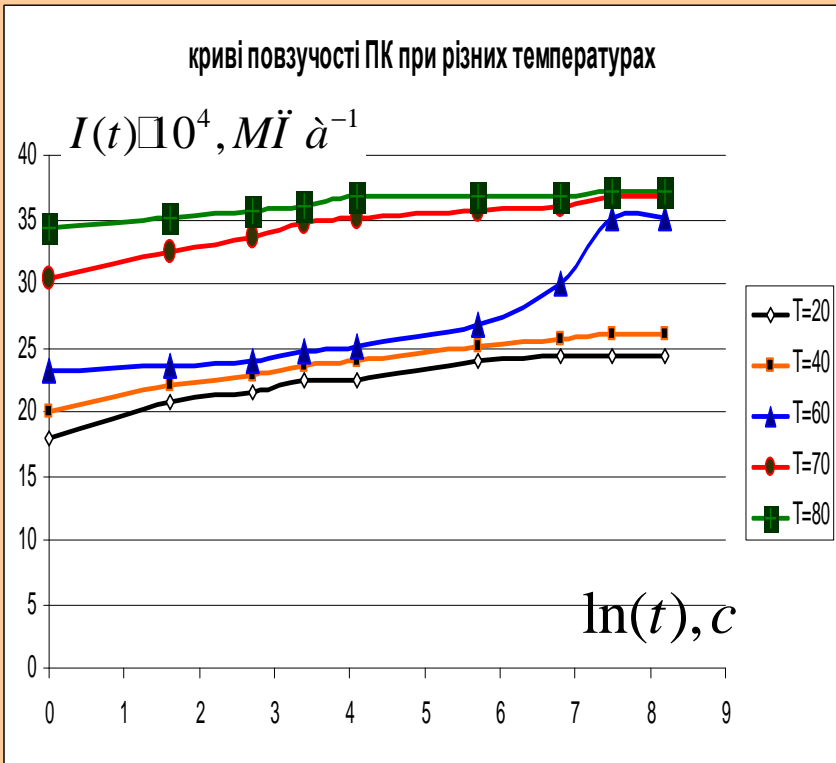
$$t' = t \cdot a_T$$

Узагальнена модель Кельвіна-Фойгта

$$I(t) = I_0 + I_1 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right] + I_2 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right] + I_3 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right]$$

Кількість елементів моделі n	Коефіцієнти $I \cdot 10^{-4}$, МПа $^{-1}$					Час пружної післядії τ , с		
	I_0	I_∞	I_1	I_2	I_3	τ_1	τ_2	τ_3
3	17,84	22,15	7,38	7,38	7,38	44,44	$2.31 \cdot 10^5$	$37.54 \cdot 10^8$

Повзучість ПК при різних температурах



Узагальнена крива повзучості

- Досліджені типи концентраторів напружень практично не впливають на границю міцності полікарбонату та знижують максимальну деформацію. Найбільший вплив оказують круглі отвори.
- Зміна швидкості деформування, майже, не змінює міцність ПК, проте істотно впливає на його максимальні деформації.
- Зниження температури помітно підвищує міцність матеріала з одночасним збільшенням його крихкості.
- Концентратори напружень мало впливають на міцність при циклічному навантаженні.
- Встановлено, що полікарбонат є термореологічно простим матеріалом, що дає можливість застосовувати спосіб ТЧА з описанням кривих повзучості за узагальненою моделлю Кельвіна-Фойгта.
- Можливе прогнозування деформації повзучості ПК при різних температурах та часах навантаження.

Дякую за увагу