

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Вплив температурних залежностей на
властивості паст на основі нанопорошку
BaTiO₃**

Роботу виконав:
студент групи ФК – 32
Футрук А. О.

Науковий консультант:
к.т.н. Умерова С. О.

Науковий керівник:
д.т.н., чл.-кор. НАНУ Рагуля А. В.

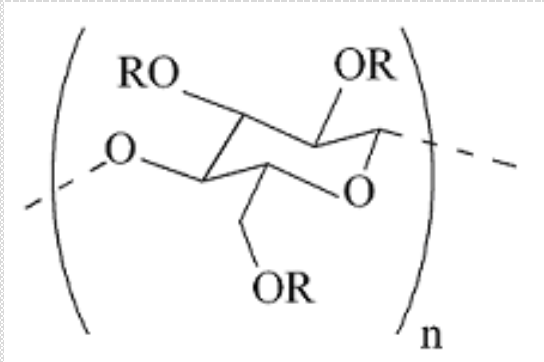
Актуальність роботи: Тенденція мініатюризації загалом усіх електронних пристроїв спричиняє необхідність зменшення габаритних розмірів багатошарових керамічних конденсаторів із одночасним збільшенням їхньої питомої ємності. Це може бути досягнуто шляхом стоншення діелектричних та провідних шарів і підвищенням їх кількості за рахунок використання нанопорошків і нових методів виробництва. З цієї точки зору, найбільш перспективним методом отримання тонких шарів є метод трафаретного друку, проте шорсткість, рівність і товщина одержаних відтисків безпосередньо залежать від реологічних властивостей паст, які, в свою чергу, визначаються не в останню чергу температурою. Таким чином, дослідження залежності реологічних і в'язкісних характеристик паст для трафаретного друку на основі нанопорошку BaTiO_3 від температури набувають великого значення.

Мета: систематичне вивчення в'язкісних і реологічних властивостей пасти для трафаретного друку на основі нанопорошку BaTiO_3 залежно від температури та розрахування значення енергії активації в'язкої течії.

Задачі дослідження:

1. Замішати пасту за заданим складом.
2. Встановити вплив температури пасти на реологічні в в'язкісні властивості.
3. Розрахувати значення енергії активації в'язкої течії.
4. Обґрунтувати отримані дані і пояснити внутрішні процеси.

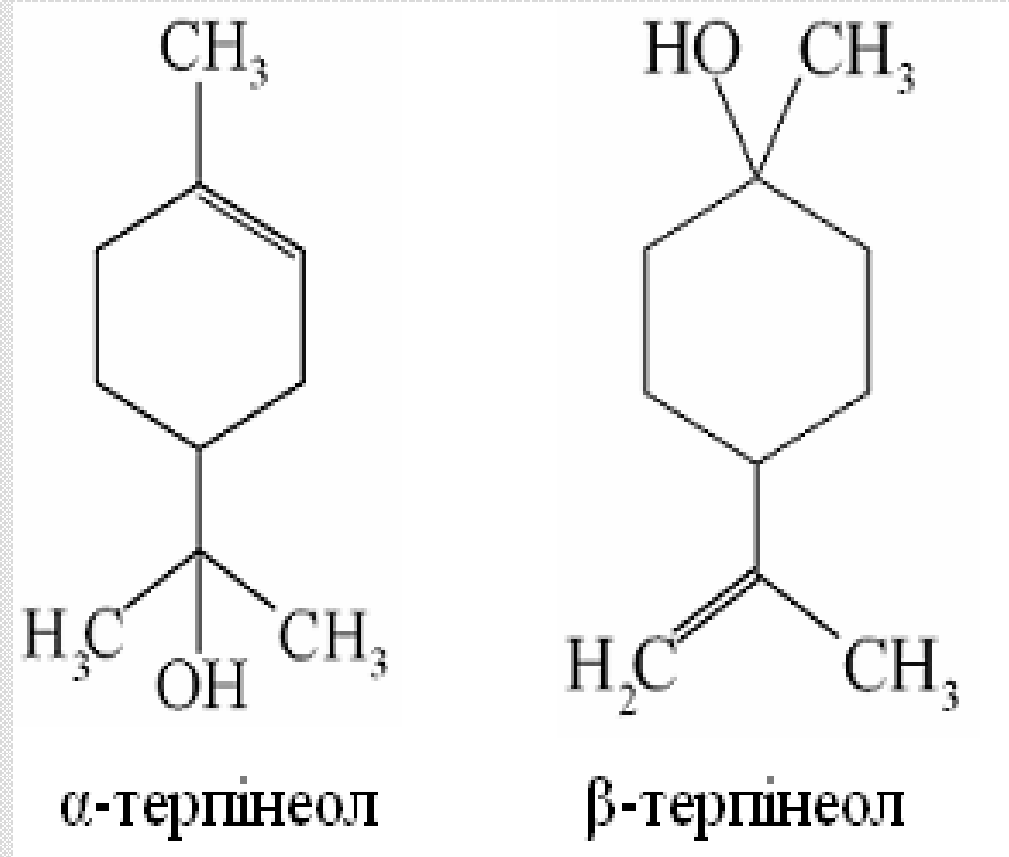
Складові пасти



R = H або CH₃ CH₂
Молекула ЕЦ

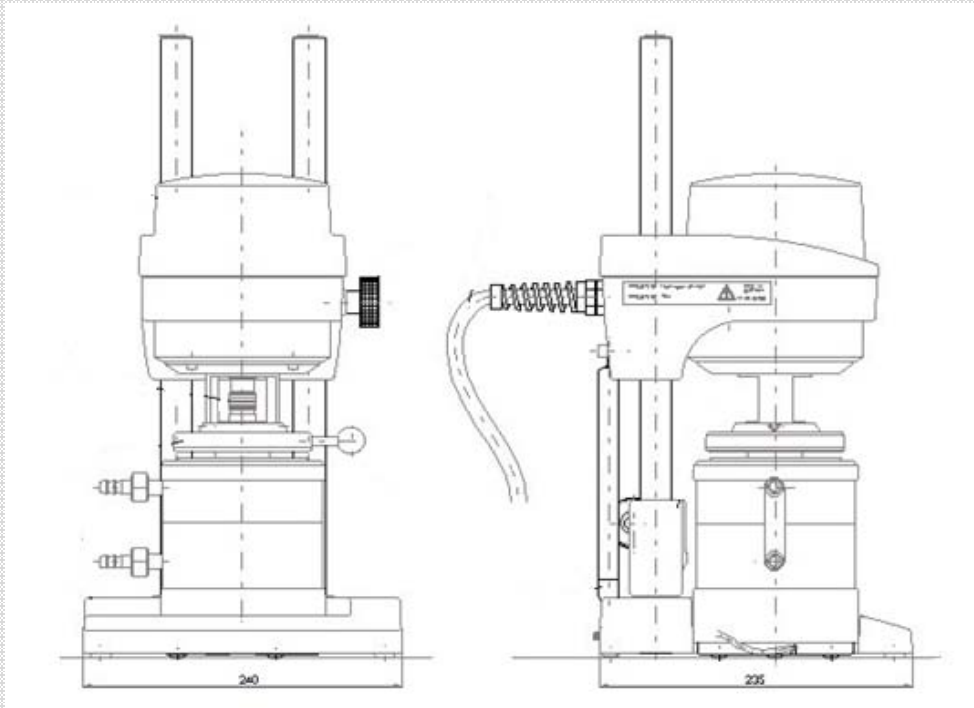


Нанопорошок BaTiO₃

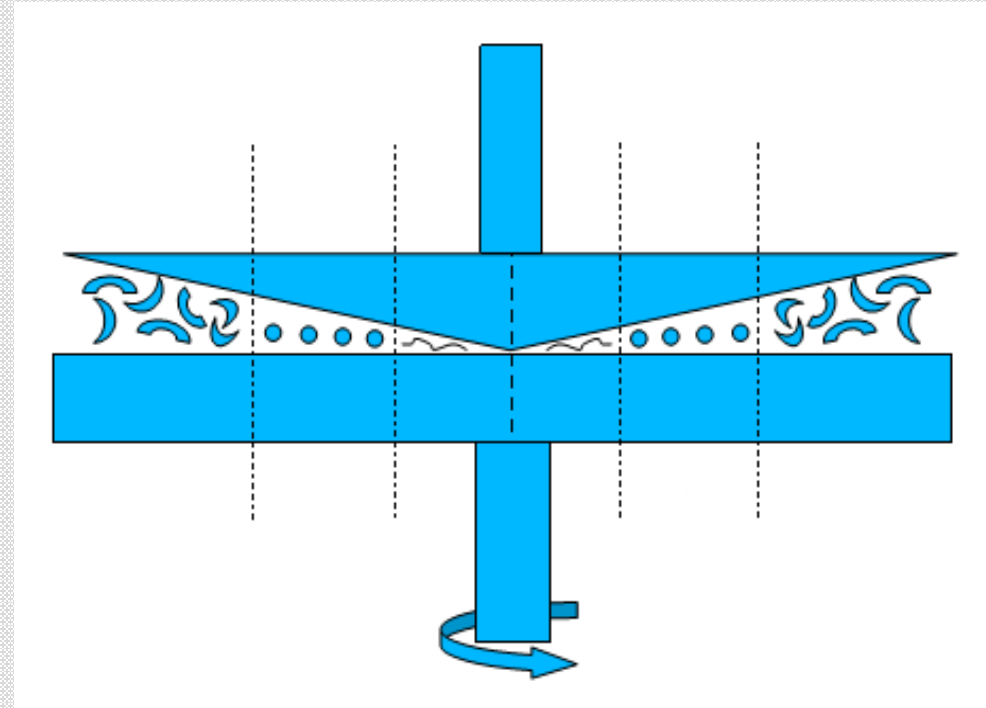


Ізомери терпінеолу

Дослідження реології



Ротаційний віскозиметр Rheotest RN4.1

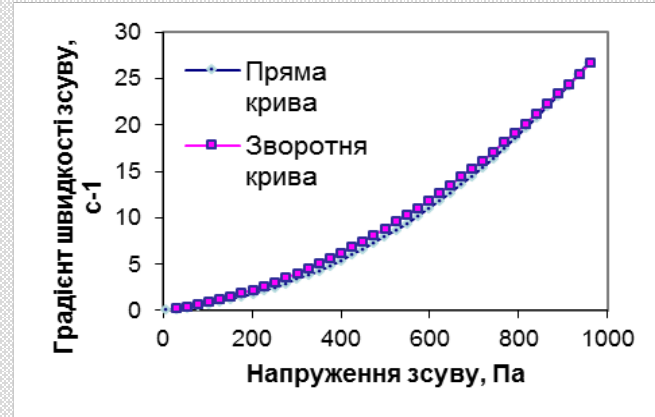
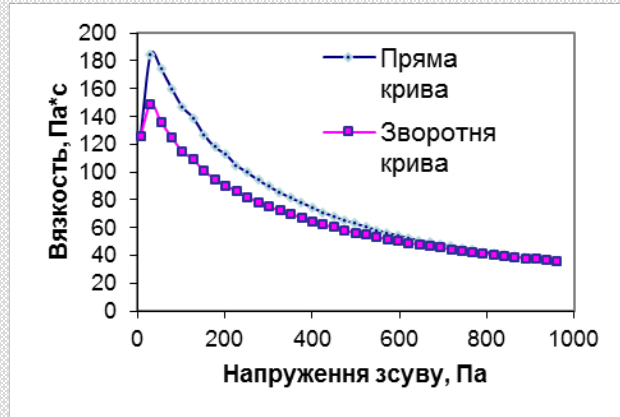


Структурування досліджуваної системи у міру збільшення зазору між робочими частинами вузла типу «конус – площина»

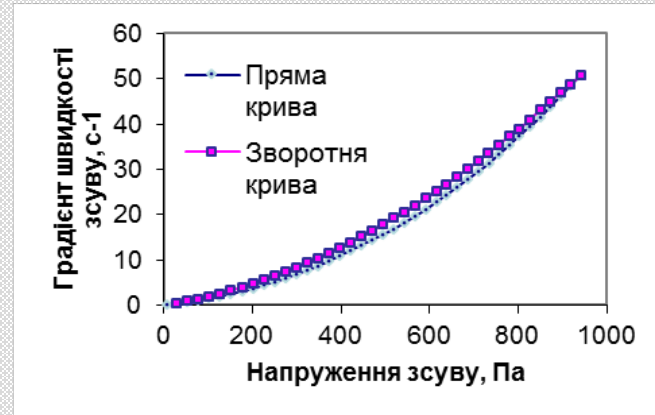
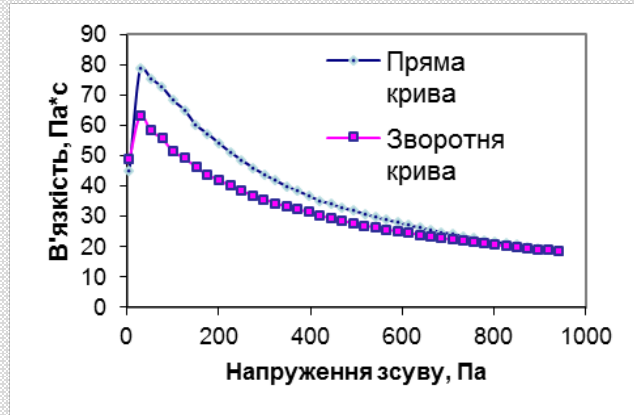
Реологічні властивості пасти P1 на основі BaTiO₃ в залежності від температури

Температура, °C	Ефективна в'язкість η_0 , Па·с	Максимальна ефективна в'язкість η_T , Па·с	Межа текучості T_T , Па	Найнижча ефективна в'язкість η_{min} , Па·с	Ступінь загущення D_T , від. од.	Ступінь розрідження D_D , від. од.	Ступінь тиксотропності T , кПа/с	Ступінь реопесії R , кПа/с	PCPC, від. од.	Межа міцності T_M , Па
Тиксотропний характер течії										
5	126,0	185,0	29,7	36,00	0,47	4,14	0,529	0	0,4	960
10	44,8	78,6	28,7	18,61	0,75	3,23	1,465	0	0,6	941
15	9,74	17,9	26,3	3,93	0,84	3,55	19,000	0	0,6	831
20	1,28	4,9	25,0	1,58	2,85	2,12	5,908	0	1,1	689
25	1,36	4,8	25,0	1,78	2,56	1,72	5,668	0	1,1	711
30	0,56	1,2	43,0	0,42	1,15	1,89	14,000	0	0,8	392
Реопексно-тиксотропний характер течії										
35	0,86	1,8	46,7	0,86	1,04	1,03	5,814	0,0171	1,0	558
40	0,34	0,9	56,9	0,52	1,64	0,74	5,373	0,0720	1,5	441
45	0,08	0,5	48,4	0,32	5,29	0,57	7,463	0,0319	2,3	330

Тиксотропний характер течії



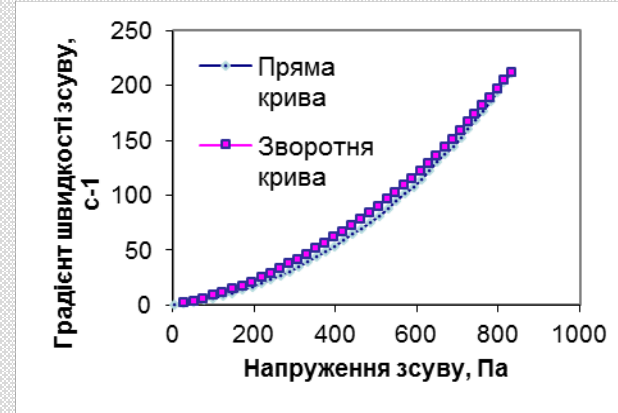
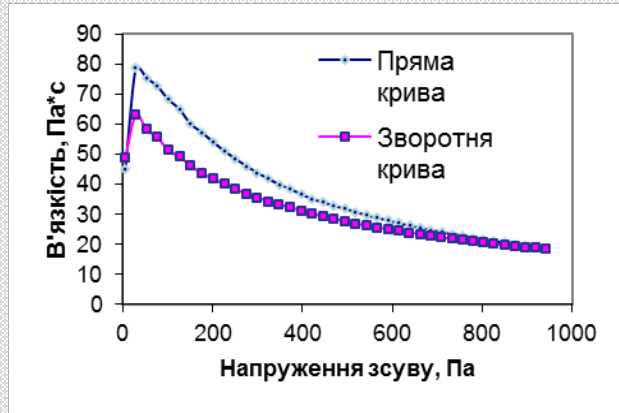
5 °С



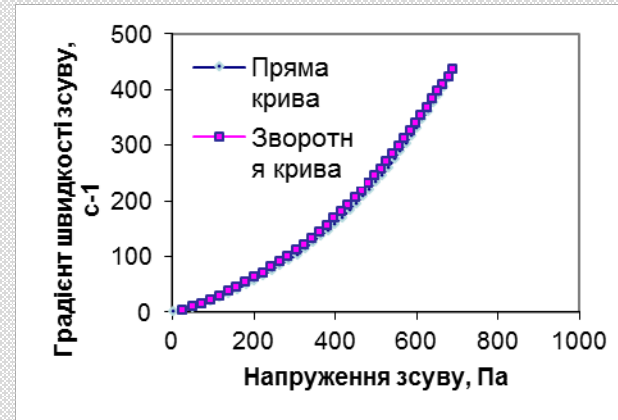
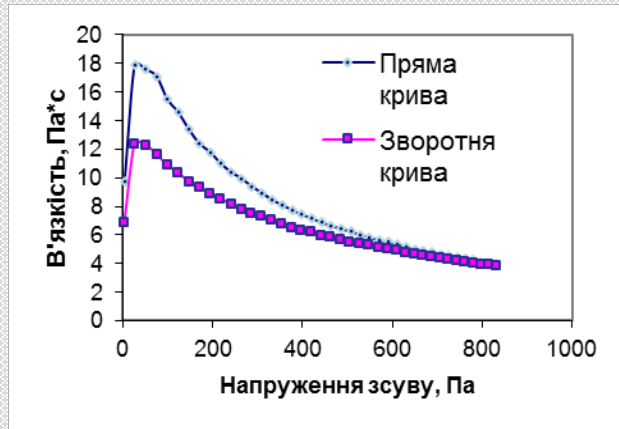
10 °С

Профілі в'язкості та криві течії пасти Р1 в залежності від температури на діапазоні 5 – 10 °С

Тиксотропний характер течії



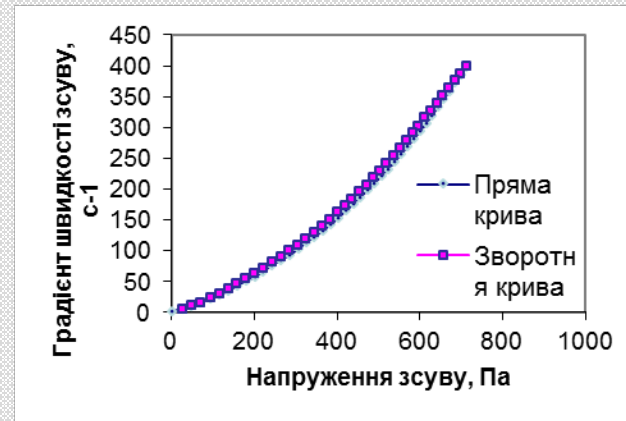
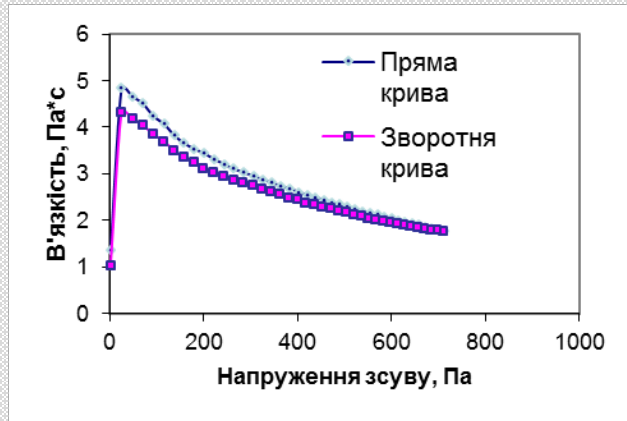
15 °C



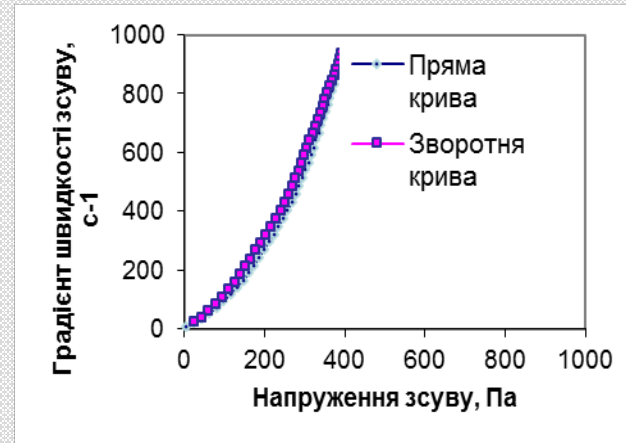
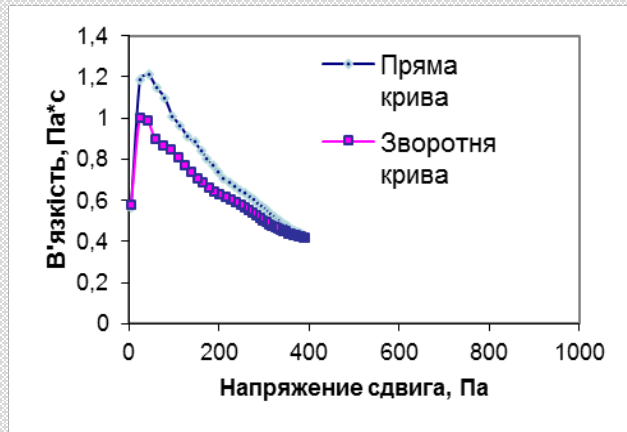
20 °C

Профілі в'язкості та криві течії пасти Р1 в залежності від температури на діапазоні 15 – 20 °C

Тиксотропний характер течії



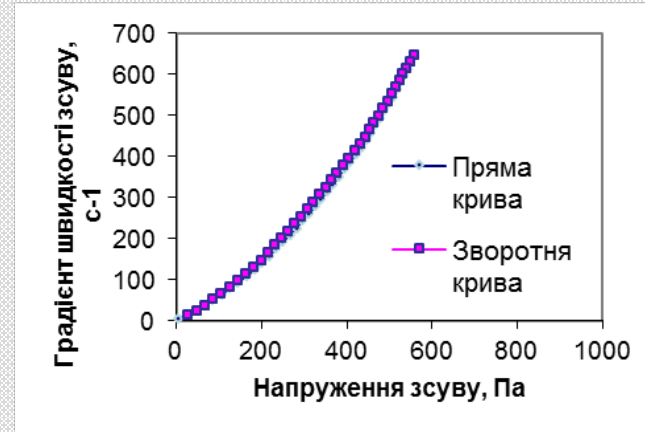
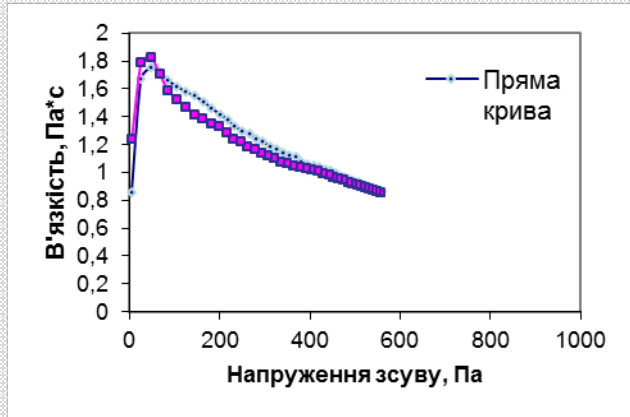
25 °C



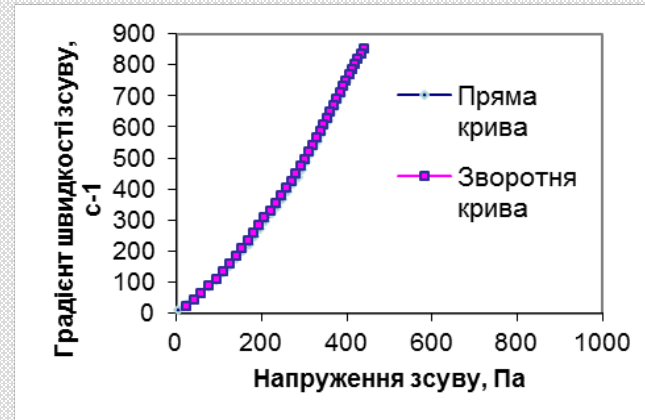
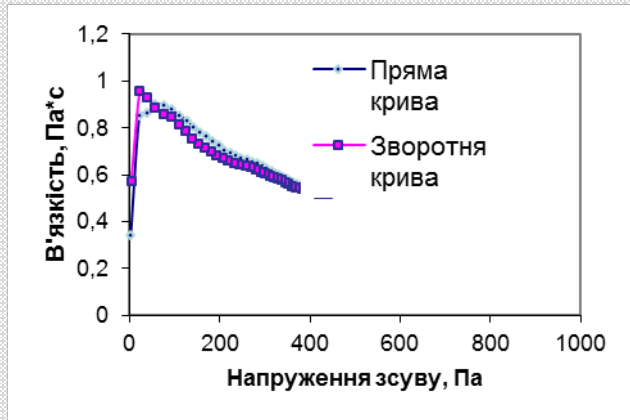
30 °C

Профілі в'язкості та криві течії пасти Р1 в залежності від температури на діапазоні 25 – 30 °C

Реопексно-тиксотропний характер течії



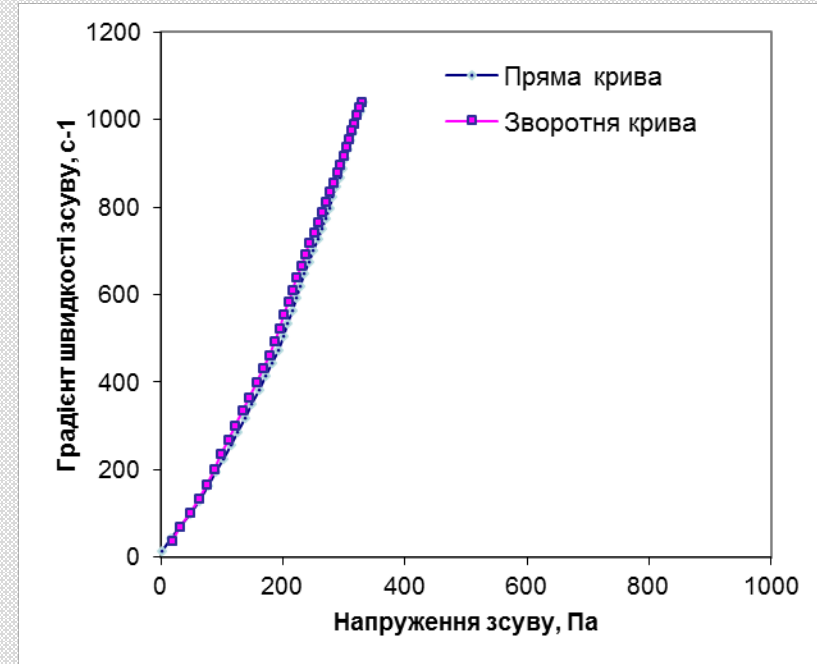
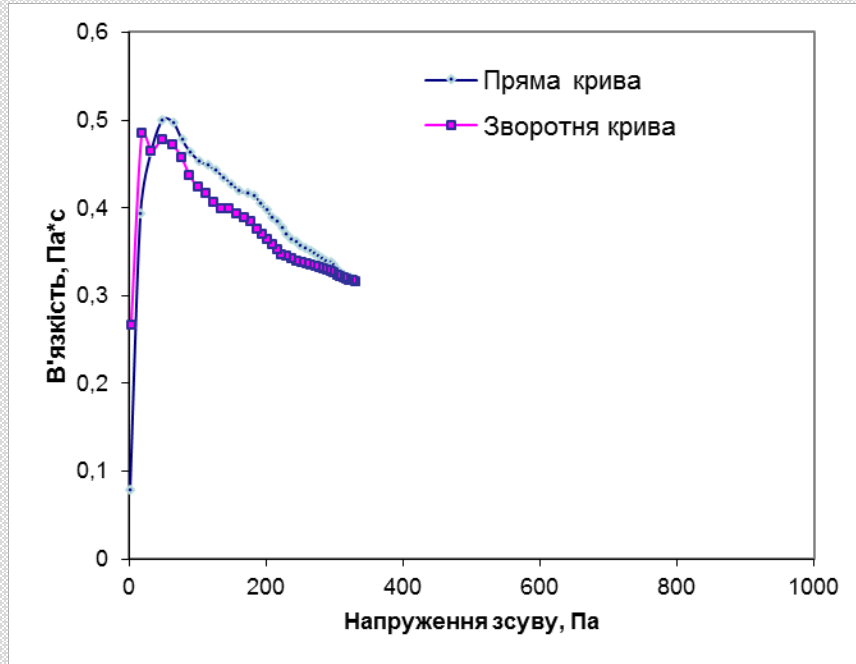
35 °C



40 °C

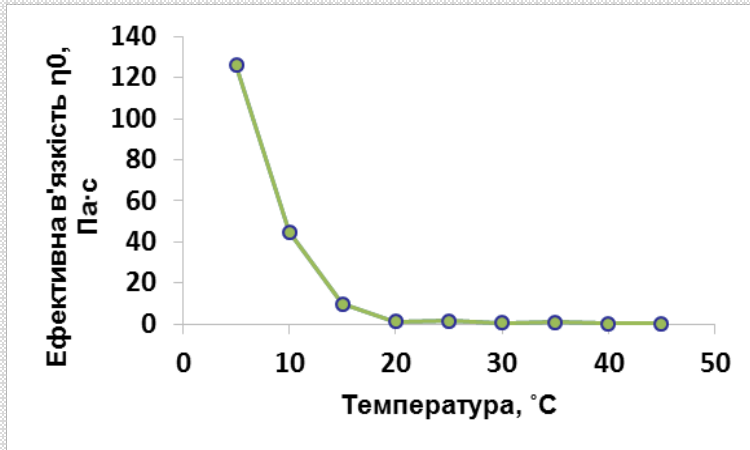
Профілі в'язкості та криві течії пасти Р1 в залежності від температури на діапазоні 35 – 40 °C

Реопексно-тиксотропний характер течії

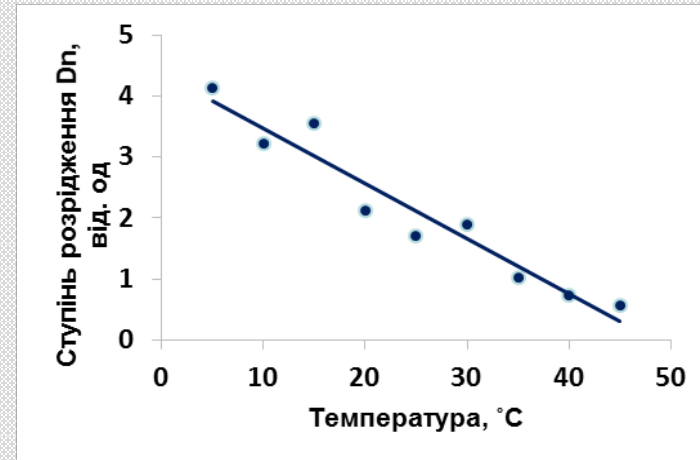


Профілі в'язкості та криві течії пасти Р1 в залежності від температури при 45 °С

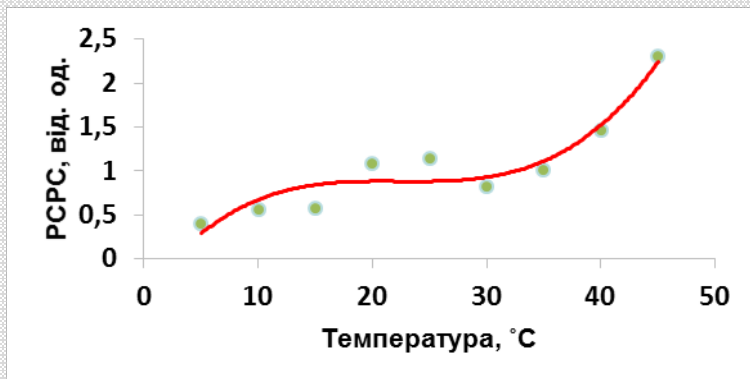
Загальні залежності



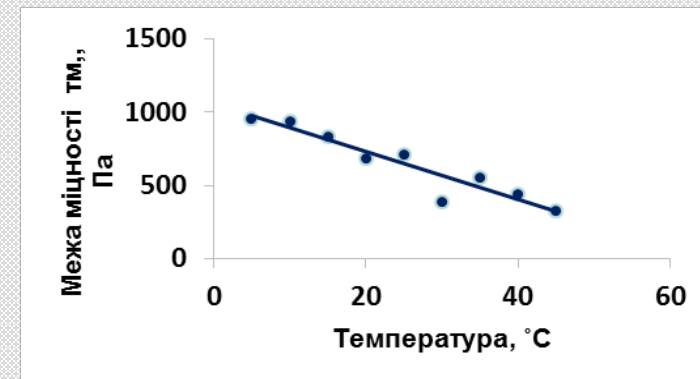
Залежність ефективної в'язкості від температури



Вплив температури на ступінь розрідження пасти



Вплив температури на рівноважний ступінь руйнування структури пасти P1



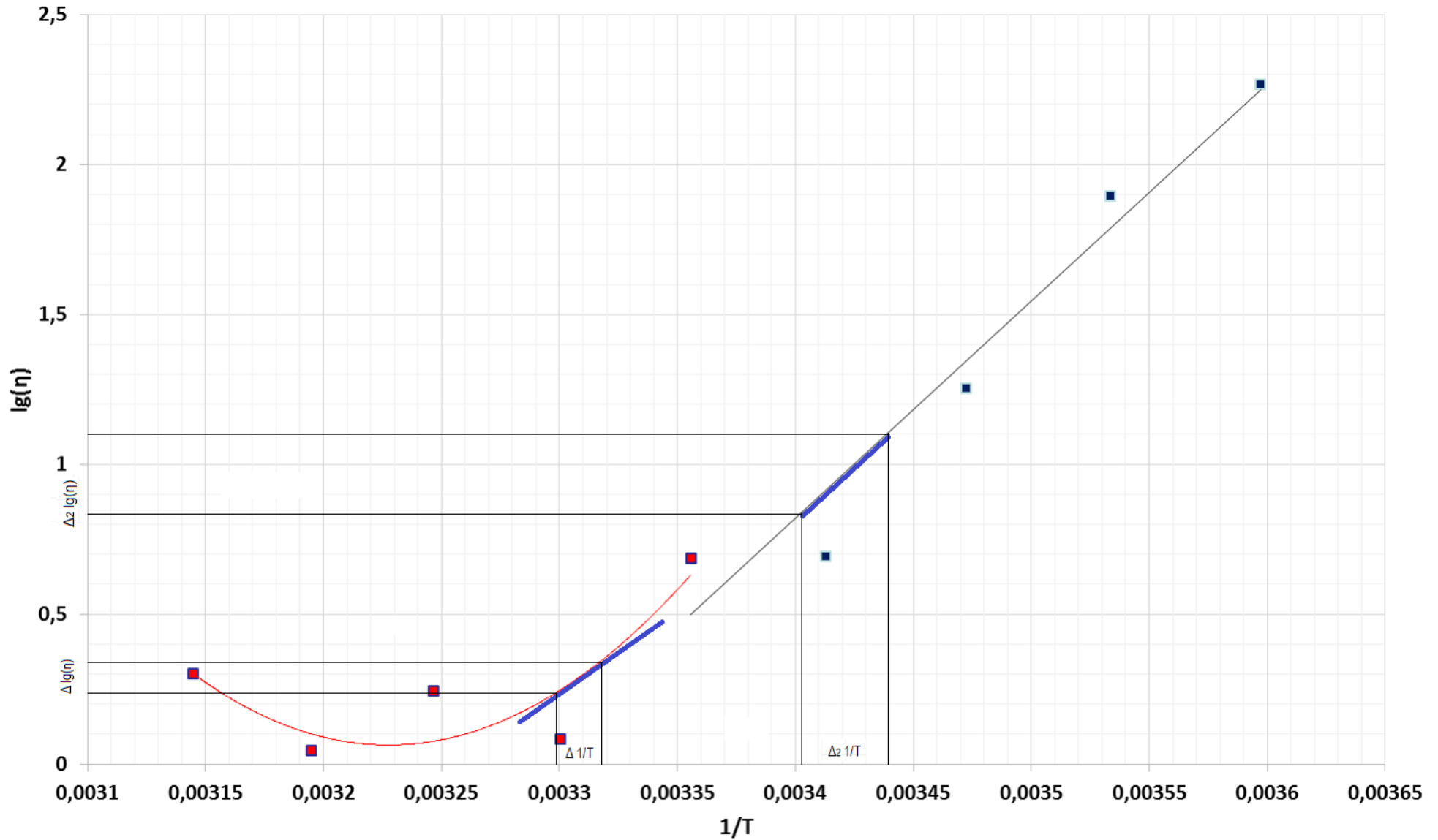
Залежність межі міцності пасти P1 від температури

Розрахунок енергії активації в'язкої течії

Етапи розрахунку значень енергії активації в'язкої пасти Р1

T, K	η, Па*с	$\lg(\eta)$	$1/T$	τ, Па
278	185	2,267172	0,003597122	29,74
283	78,6	1,895423	0,003533569	28,73
288	17,9	1,252853	0,003472222	26,29
293	4,93	0,692847	0,003412969	25,01
298	4,84	0,684845	0,003355705	24,97
303	1,21	0,082785	0,00330033	43,01
308	1,75	0,243038	0,003246753	46,7
313	0,9006	0,045468	0,003194888	56,93
318	0,4999	0,301117	0,003144654	48,4

Етапи проходження процесів у структурі



Висновки

1. Встановлено, що у інтервалі температур від 5 до 45 °С паста на основі нанопорошку ВаТіО₃ представляє собою структуровану систему, що загущується під час зсуву за низьких швидкостей деформування та проявляє тиксотропні властивості у області високих напружень зсуву.
2. Виявлено, що течія пасти Р1 обумовлена конкуруванням процесів руйнування і відновлення, і за температур 5 – 30 °С паста проявляла тиксотропний характер течії, а в діапазоні температур 35 – 45 °С - реопексно-тиксотропний.
3. Згідно проведених розрахунків енергії активації в'язкої течії доведено, що явище реопексії з'являється на діапазоні підвищених температур через зменшення енергії активації в'язкої течії, внаслідок чого, полімерним молекулам вистачає рухливості і простору, щоб розпрямитись. І на етапі релаксації завдяки великій кількості зіткнень за одиницю часу проходить взаємодія полімеру з більшою кількістю частинок нанопорошку, що й обумовлює більш високий ступінь структурованості.

Подяка

Особлива подяка висловлюється науковому консультанту, к.т.н Умеровій Сайде Олександрівні і науковому керівнику д.т.н., чл.-кор. НАНУ Рагулі Андрію Володимировичу за відмінне керування і консультації під час виконання бакалаврської дипломної роботи.