

УДК 655.3

Дорош А. К., Шевчук А.В.

*Національний Університет «Києво-Могилянська Академія»
вул. Сковороди, 2, м. Київ, 04070; Україна
E-mail: dorosh_mpm@ukr.net*

Пружно-в'язкісні властивості ролевої офсетної чорної фарби за даними релаксаційної реометрії

Методами релаксаційної реометрії проведені вимірювання та встановлені якісні закономірності залежностей пружно-в'язкісних характеристик чорної фарби фірми Сібо в інтервалі температур (293-333), а саме: модуля пружності (G') та модуля втрат (G''); кута та тангенса кута втрат; повних реологічних кривих течіння першого та другого (комплексної в'язкості) видів; ступені руйнування структури у залежності від величини: швидкості зсуву; деформації взірця та його температури. Встановлено що: 1) Залежність модуля пружності (G') від напруги при малих значеннях її (0-20)Па не є плавнспадаючою, а S-подібною кривою з плато, яке звужується з ростом температури і вироджується в точку перегину при (42-45) $^{\circ}$ C; 2) При величині відносної деформації 10% і деформуючих напругах (0-10-20)Па величини модуля пружності (G') і модуля втрат (G'') мають приблизно сталі значення, після цього їх величина стрімко зменшується по нелінійній залежності з ростом напруги і температури; 3) Залежність комплексної в'язкості від зсувної напруги при фіксованій температурі має вид різко спадаючої (не експоненціальної кривої), властивої лише для псевдопластичних речовин; 4) Залежність модуля пружності та модуля втрат від температури в інтервалі (0-60) $^{\circ}$ C є плавно спадаючою (приблизно експоненціальною) кривою, яка прямує до мінімальної величини при 60 $^{\circ}$ C; так якщо при 273K: $G'=2000$ Па; $G''=3500$ Па, то при 333 K: $G'=40$ Па; $G''=70$ Па, але при любых температурах в інтервалі (273-333)K величина модуля втрат завжди більша від модуля пружності фарби; 5) невідповідність експериментальних даних для модуля пружності, отриманих методом релаксаційної реометрії і розрахованих теоретично за даними традиційної реометрії обумовлено: великими похибками вимірювання кривих течіння і визначення їх критичних параметрів в області гранично малих градієнтів швидкостей деформації і величини зсувних напруг методом сталості градієнта швидкості ($\omega=const$); недосконалістю теоретичних моделей і розрахункових формул існуючих теорій течіння коллоїдних тиксотропних систем.

Постановка проблеми. Новітні методи релаксаційної реометрії дослідження високов'язких коллоїдно-дисперсних систем, які частково описані в роботах [2-5], забезпечують безпосереднє автоматичне вимірювання їх пружно-в'язкісних характеристик. Внаслідок чого отримані результати вимірювань та наукові висновки з їх аналізу набувають особливо важливого як наукового так і практичного значення для фундаментальних та прикладних галузевих напрямків дослідження фарбових коллоїдно-дисперсних систем. Але число таких досліджень і публікацій їх результатів у відомій нам та доступній світовій літературі вкрай обмежене і складає всього декілька одиниць [2, 5, 6]. Як відомо, технологічно-експлуатаційні властивості поліграфічних фарб, включаючи електро та магніточутливі фарби, визначаються, в основному, їх механічними пружно-еластично – в'язкісними характеристиками, залежністю їх від вели-

чини: деформуючої зсувної напруги; градієнта швидкості деформації; величини абсолютної (або відносної у%) їх деформації; частоти деформуючої напруги та її амплітуди; енергетичних теплових втрат внаслідок дії сил тертя, що визначаються комплексною складовою в'язкості (η'') та модуля втрат (G'') при деформації зсуву; температури фарбової речовини. Безпосереднє визначення цих залежностей за результатами вимірювання повної реологічної кривої течіння першого $\Upsilon(P)$ та другого ($\eta(P)$), $\eta(\Upsilon(P))$ видів методами традиційної ротаційної реометрії а саме: методу сталості градієнта швидкості зсуву ($\omega = \text{const}$); та сталості величини зсувної напруги ($P = \text{const}$), не дає упевненості у правильності значень розрахованих рівноважних величин: модуля зсуву D ; молекулярних параметрів фарби та інших її характеристик (часу релаксації ($\Theta(P, T)$), енергії активації течіння E_a , і інших) внаслідок недосконалості механічних модельних та молекулярно-кінетичних теорій і моделей течіння коллоїдно-дисперсних систем наведених, зокрема в оглядових роботах [1-6] та експериментальних методів вимірювання кривих течіння першого та другого видів при гранично малих швидкостях деформації та деформуючої напруги.

Зразки для дослідження. Для дослідження пружно- в'язкістних характеристик коллоїдно-дисперсних фарбових (тиксотропних) систем нами вибрана чорна базова фарба гарячого способу твердіння фірми Сібо (серії Irgastar GF), призначена для промислового ролевого офсетного способу друку, який широко застосовується в Україні. Серед інших трьох базових фарб європейської фарбової системи СМҮК (синя, пурпурна, жовта, чорна) цієї фірми вона відрізняється найбільшою структурованістю завдяки утворенню в ній рівноважної гроноподібної структури із часточок сажового пігменту в масляному рідкому розчиннику. Точна рецептура цієї фарби невідома і є таємницею фірми-виробника. Як відомо, всі поліграфічні фарби проявляють сильну залежність своїх властивостей від концентрації їх пігменту, часточки якого мають середній розмір від 10 нм до 100-600 нм. Функція їх розподілу за розміром дуже гостра і максимум її, очевидно, припадає приблизно на середину діапазону їх розмірів ($\approx 10\text{-}100\text{нм}$). Вимірювання пружно-в'язкістних характеристик та повної реологічної кривої течіння цієї фарби проводилось нами в інтервалі температур (293-333) К її технологічної стійкості, що включає і рекомендовану нами температуру її використання у друкарській секції поліграфічних високошвидкісних ролевих машин $\approx(40\text{-}45)^\circ\text{C}$.

Методика вимірювань. Експериментальні результати вимірювань: 1) пружного рівноважного модуля зсуву G' (модуля накопичення); G'' (модуля втрат) та тангенса кута втрат: $\text{tg}\alpha = G''/G'$; 2) повної реологічної кривої першого $\Upsilon(P)$ та другого ($\eta(P)$), $\eta(\Upsilon(P))$ роду-комплексної в'язкості у залежності від величини: зсувної напруги; градієнта швидкості зсуву; величини деформації (відносної, у %) при різних температурах в інтервалі (293-333) К – отримані нами за допомогою високопрецизійного комп'ютеризованого комплексу дослідницького класу на базі модульного релаксаційного реометра фірми Anton Paar типу MCR 102, люб'язно наданого нам для проведення вимірювань фір-



Рис.1. Загальний вигляд реометрів серії MCR: 502; 302; 102.

Таблиця 1. Основні характеристики реометрів серії MCR фірми Anton Paar

MCR серия: Основные характеристики		Anton Paar GERMANY				
Характеристика	Ед.	MCR72	MCR92	MCR102	MCR302	MCR502
Подшипник		механический	воздушный	воздушный	воздушный	воздушный
Мин усилие	μНм	200	1	0,005 / 0,0075	0,001 / 0,0005	
Макс усилие	мНм	125	125	200		230
Разрешение усилия	μНм	0.1	<0.1	0.002	0.001	0.001
Угол поворота	μрад	1 to ∞		1 to ∞	0.05 to ∞	
Угловое разрешение	град	614		10	<10	
Мин скорость (CSS)	1/мин	1.0E-03		1.0E-07	1.0E-08	
Мин скорость (CSR)	1/мин	1.0E-03		1.0E-07	1.0E-08	
Макс скорость	1/мин	1500		3000		
Мин частота	рад/с	1.0E-03	1.0E-04	1.0E-08	1.0E-09	
Макс частота	рад/с	628		628		
Осевое усилие	Н	контроль		0.01-50	0.005-50	
Разрешение усилия	мН	-		1	0.5	
Toolmaster™		есть		есть	есть	есть
TruGap™		нет		опция	опция	есть
Т диапазон	°C	^-40 ... +400		^-150 ... +600	^-150 ... +1000	^-150 ... +1800
Аксессуары		CC, CP, PP, лопасти, мешалки		все	все	все

мою ДоНАУлаб Україна у м. Києві, за що автори висловлюють найщирішу подяку її керівництву а також науково-технічному персоналу за допомогу в отриманні числових і графічних масивів результатів досліджень. Загальний вигляд реометрів серії MCR: 102; 302; 502; для ілюстрації, показаний на рисунку 1, а їх порівняльні характеристики представлені у табл. 1.

Модульний релаксацийний реометр MCR 102 забезпечує: 1) гарантований інтервал швидкостей зсуву: від 10^{-9} рад/с до 314 рад/с; 2) інтервал величин коливого зсуву від 0.5 нанонанометра до 300 мілінанометра; 3) величину задаваного нормального зусилля від 0.005 до 70 ньютон; 4) інтервал температур у вимірювальній комірці термостата із взірцем: від -150 до $+600$ °C; похибка тер-

мо-статування складає ± 0.01 °С. При цьому вимірювальний шпіндель оснащується вимірювальними парами різної конфігурації та різних розмірів, а саме: СС(конус-конус); СР(конус-пластина); РР (пластина-пластина); лопатними шпінделями та мішалками різних видів. Вибір частот вібрації рухомої частини вимірювального шпінделя можна здійснювати у діапазоні (10^{-8} - 628) рад/сек , або ($1.592 \cdot 10^{-8}$ – 100) Гц. У процесі вимірювань ми використовували (в основному) вимірювальні пари: пластина-пластина (РР25 та РР50) або конус-пластина (СР25, СР50) та встановлювали частоту вібрації $f = 10$ рад/сек = 1.592 Гц, а інтервал зсуву між послідовними точками вимірювань 1мм. При цьому використання шпінделя СР (конус-плита) дозволяло отримувати повну реологічну криву течіння першого та другого видів до великих значень градієнта швидкості деформації, а шпіндель типу РР (пластина-пластина) дозволяв точніше визначати хід їх при малих градієнтах швидкості деформації та деформуючої напруги. Величина обертового моменту прикладеної сили шпінделем автоматично вимірюється сенсорними датчиками і видруковується вивідним пристроєм вимірювальної системи. Числові масиви результатів вимірювання повних реологічних кривих першого та другого роду були отримані нами раніше за допомогою програмно-керованої системи дослідницького класу з вимірювальною термостатуємою коміркою рідинного типу та шпінделем типу конус-плита на базі ротаційного віскозиметра RotoVisko1. Результати отримані в широкому діапазоні швидкості деформації та величини деформуючих напруг (0-20000) Па по методу сталості градієнта швидкості зсуву з похибкою $\pm 0.1\%$; похибка підтримання температури у вимірювальній комірці складала ± 0.01 °С. Кут конуса у вимірювальному шпінделі був малий і складав 2°. Вимірювальний комплекс і його програмне забезпечення дозволяли автоматично отримувати масиви числових результатів досліджень $\Upsilon(P)$ та $\eta(P)$; $\eta(\Upsilon(P))$ і їх повно-кольорові графічні зображення.

Основні цілі і задачі роботи. На основі аналізів власних результатів вимірювань реологічних пружно-в'язкістних характеристик фарбових систем (на прикладі сильноструктурованої чорної офсетної фарби ролевого способу друку) методами релаксаційної реометрії:

1) Встановити кількісні залежності їх від величини: зсувної напруги; градієнта швидкості деформації; величини відносної деформації; температури; типу вимірювального шпінделя.

2) Отримати масиви кількісних значень величин: модуля пружності G' (модуль накопичення) та модуля втрат G'' (модуль в'язкістних втрат); кута α та тангенса ($\text{tg } \alpha = G''/G'$) кута втрат; повних реологічних кривих течіння першого $\Upsilon(P)$ та другого ($\eta(P)$), $\eta(\Upsilon(P))$ видів у залежності від величини: зсувної напруги P (при малих частотах вібрації ($\nu = 1.579$ Гц) рухомого елемента вимірювального шпінделя); градієнта швидкості деформації зсуву $\Upsilon(P)$; величини відносної (γ %) або абсолютної деформації; температури речовини. 3) Встановити якісні закономірності ходу експериментальних залежностей: G' ; G'' ; α та $\text{tg } \alpha$; повних реологічних кривих течіння першого $\Upsilon(P)$ та другого ($\eta(P)$), $\eta(\Upsilon(P))$ видів від величини: деформуючої напруги; градієнта швидкості деформації; вели-

чини відносної деформації; температури досліджуваної речовини, починаючи з малих величин зсувної деформуючої напруги та величин відносної деформації взірця. 4) Проаналізувати, по можливості, якісну відповідність цих залежностей і кількісних значень пружного модуля зсуву G' , отримуваних розрахунковим шляхом згідно існуючих модельних теорій течіння [1-5] за результатами визначення повної реологічної кривої методом сталості градієнта швидкості деформації тиксотропних фарбових систем та виміряних нами експериментально методом релаксаційної реометрії. 5) Порівняти хід температурних залежностей кута і тангенса кута втрат та степені руйнування пружних та в'язкісних характеристик фарби; встановити якісну відповідність (або невідповідність) отриманих нами результатів з прогнозованими теоретично, тобто з розрахунковими значеннями їх згідно рівнянь існуючих модельних теорій течіння тиксотропних рідинних систем [1-6].

Результати дослідження та їх аналіз. В результаті проведених досліджень отримані масиви числових значень: модуля пружності G' та модуля втрат G'' ; кута і тангенса кута втрат у залежності від величини відносної деформації (в %), зсувної напруги та температури в інтервалі (20-60)°C. Графіки залежності основних пружно-в'язкісних характеристик досліджуваної фарби, а саме: модулів G' і G'' при різних температурах представлені у логарифмічному масштабі на рис.2. Вибудовані у цьому масштабі отримані нами експериментальні залежності G' , G'' від зсувної напруги не виявляють суттєвих змін своєї числової величини та характеру ходу своєї залежності в інтервалі напруг (0-10)Па та відносної деформації приблизно (0-10)%, після чого спостерігається їх різке зменшення при будь-якій із температур з інтервалу 20-60 °C.

Як видно з рис.2 величина модуля пружності фарби G' завжди менша за величину модуля втрат G'' (у 3-4 рази при $T = 293$ К) та майже співпадає з нею при $T = 333$ К, як на залежностях G' , G'' від величини деформуючої напруги, так і величини відносної деформації. Це означає, що при зростанні величини деформації; зсувної напруги і температури початково сильно структурована коллоїдно-дисперсна фарбова система зазнає катастрофічного руйнування своєї початкової просторово усередненої структури і переходить в просторово однорідний коллоїдно-дисперсний стан з найменшою (ньютонівською) вязкістю η_m . Цей висновок повністю співпадає з результатами аналізу отриманих нами у даній роботі залежностей зміни комплексної в'язкості та її складових (η' , η''), складових повного модуля зсуву (G' , G''), представлених на рис. 3, та раніше отриманих нами повних реологічних кривих течіння першого та другого видів, степені руйнування пружно-в'язкісних властивостей у залежності від зсувної напруги та температури [7]. З рис.3 видно, що виміряні нами модулі G' , G'' спадають з ростом температури від (0-60) °C і досягають свого практично мінімального значення уже при температурі 45 °C і вище. На основі раніше отриманих нами кривих течіння першого виду ($\Upsilon(P)$), з використанням робочих формул, наведених в [1-6], були розраховані: 1) степені руйнування пружно-в'язкісних $X(P)$; пружних $\Upsilon(P)$ властивостей та пружного модуля зсуву $G(P)$ чорної фарби при температурах 20; 30; 40; 50; 60°C.

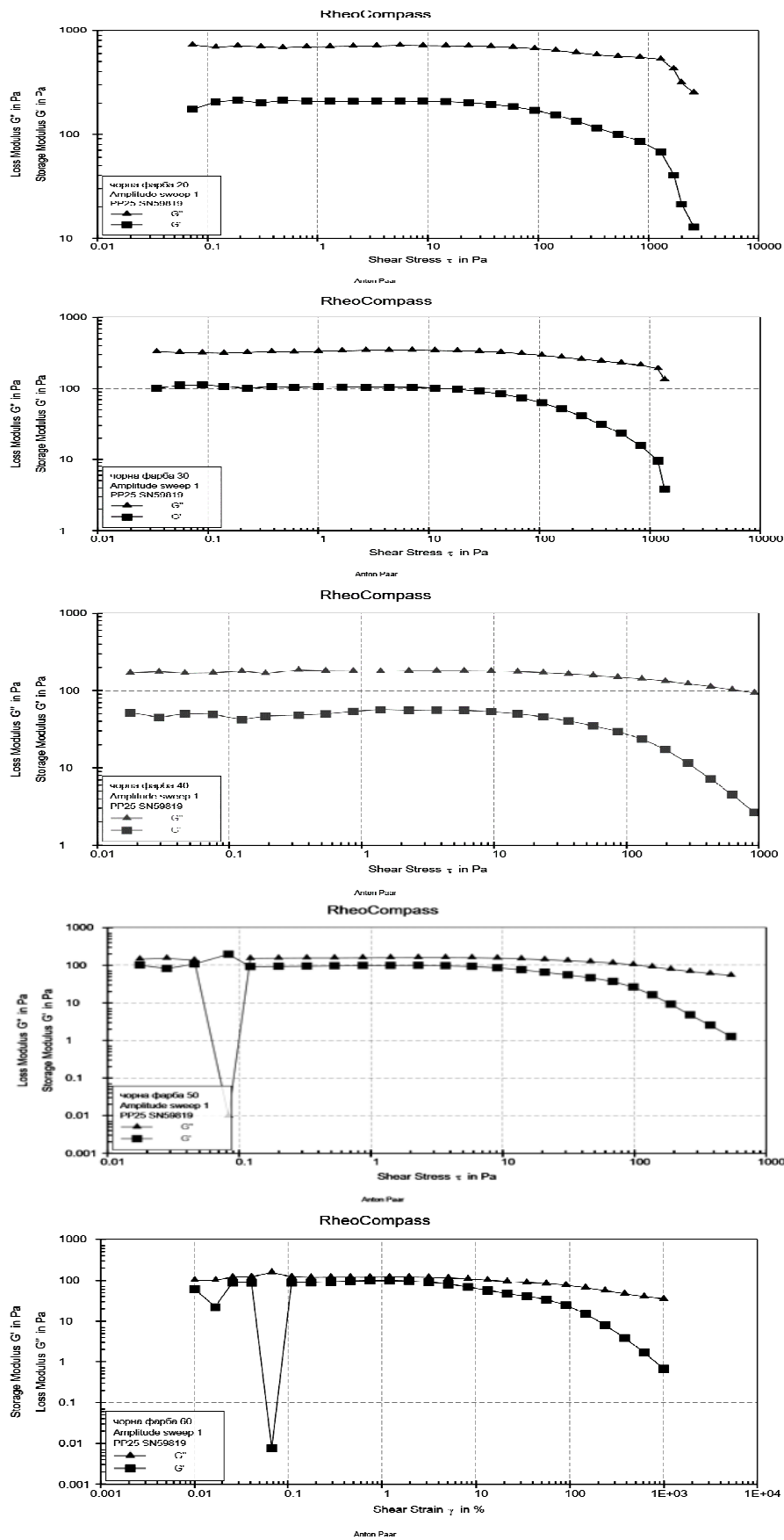


Рис.2. Залежність модулів G' , G'' від зсувної напруги в інтервалі температур (20-60)°C у логарифмічній шкалі (температура та тип вимірювальної пари шпінделя вказані біля назви фарби)

Згідно роботі [1] степінь руйнування пружно-в'язкістних властивостей структури фарби розраховується за формулою:

$$X(P) = (\phi(P) - \phi_m) / (\phi_0 - \phi_m), \quad (1)$$

де $\phi(P)$ – динамічна або кінематична рухомість фарби в залежності від зсувної напруги рівна величині її оберненої в'язкості ($\phi(P) = 1/\eta(P)$; $\phi_0 = 1/\eta_0$; $\phi_m = 1/\eta_m$).

Степінь руйнування пружних властивостей фарби, яка розраховувалась за формулою:

$$Ц(P) = [(G_m/G_0)^{3/2} \cdot (P'_m - P) / (P'_m - P'_r) + (P - P'_r) / (P'_m - P'_r)]^{2/3}, \quad (2)$$

при умові, що

$$Ц(P'_r) = G_m/G_0; \quad Ц(P'_m) = 1, \quad (2')$$

де: G_0 – пружний модуль зсуву в крайній точці початкової лінійної ділянки кривої $\Upsilon(P)$, яка відповідає границі пружності фарби та зсувній напрузі $P = P'_r$ і розраховується за формулою [1; 6]:

$$G_0 = (\eta_0 / (\eta_0 - \eta_m)) \cdot P'_r, \quad (3)$$

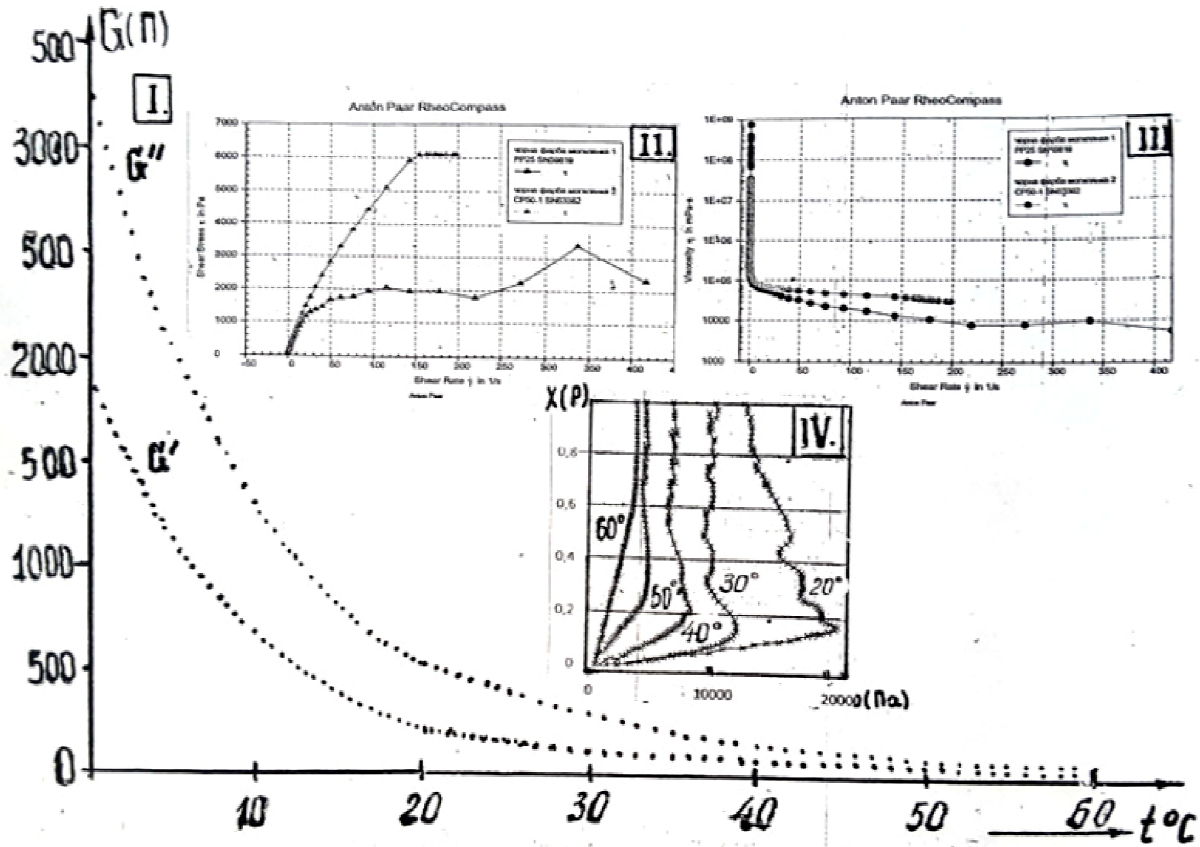


Рис.3 Залежність: I. модуля пружності G' та модуля втрат G'' від температури ($^{\circ}C$); II. повної реологічної кривої течіння 1-го виду (1;2) від величини зсувної напруги (Па), отриманих при використанні вимірювальних шпінделів: 1-пара пластин (PP25) діаметром 25мм; 2-конус-пластина (CP50); III. Комплексної в'язкості (Па) від градієнта швидкості зсуву за допомогою шпінделів: 1-PP25; 2-CP50; IV. степені руйнування структури фарби від зсувної напруги (Па) при температурах (20; 30; 40; 50; 60) $^{\circ}C$, розрахованих за результатами вимірів кривих течіння 1-го виду на ротаційному реометрі RotoVisco1 методом постійності градієнта швидкості деформації зсуву ($\omega = const$).

або за формулою [1]:

$$G_0 = 2K_6 T / \pi d a_0^2, \quad (4)$$

При цьому модуль зсуву G_m у точці кривої $\Upsilon(P)$, де в'язкість фарби досягає мінімальної величини η_m , а зсувна напруга дорівнює P'_m внаслідок повного руйнування її первинної структури, розраховується за формулою [1]:

$$G_m = 2K_6 T / \pi d a_m^2, \quad (5)$$

де величини в формулах (4); (5): K_6 – стала Больцмана; T – температура речовини; d – середній рівноважний діаметр часточок пігменту, сольватованих розчинником та стабілізуючими домішками фарби; a_0 – відстань між часточками пігменту у їх ланцюжку у напрямку зсуву шару фарби в зоні її пружного стану зі значенням її максимальної величини в'язкості η_0 ; a_m – середня повздожна відстань між часточками пігменту в їх ланцюгу в точці кривої $\Upsilon(P)$, що відповідає стану повного руйнування первинної структури фарби при напрузі P'_m . Згідно з роботами [1; 6] величини a_0 та a_m можуть бути розраховані за формулами (4) та (5) при відомих G_0 та G_m або за формулою:

$$a_0 \approx \delta_0 = (2K_6 T / P'_r)^{1/3}, \quad (6)$$

$$P'_r \approx 7.73 \cdot n \cdot P'_r, \quad (7)$$

де: $\delta_0 \approx a_0$ – середня найменша повздожна відстань між сольватованими розчинником часточками пігменту у ланцюжках, утворених ними у напрямку дії зсувної напруги; n – середнє число поперечних зв'язків часточок у ланцюжках (для фарб $n \leq 2 - 4$). При цьому величина часточок може бути розрахована, згідно [1], за формулою:

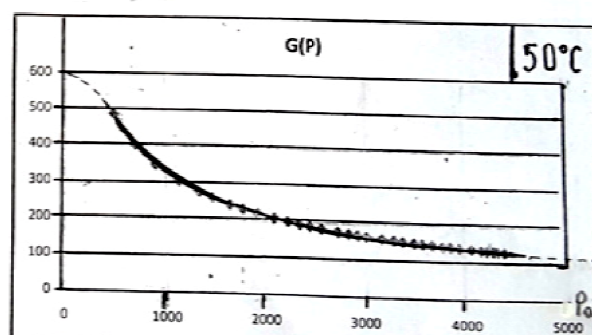
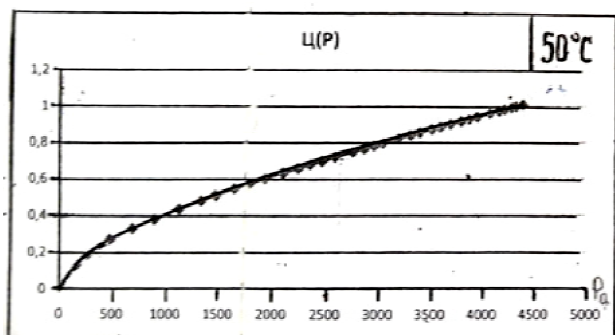
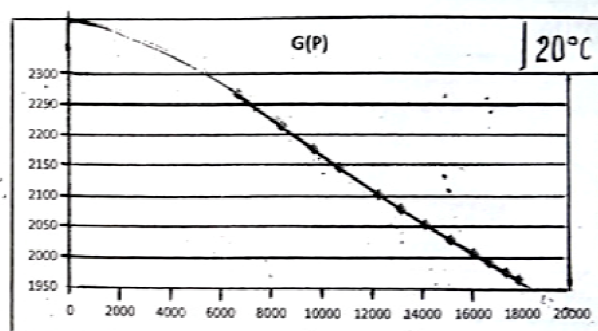
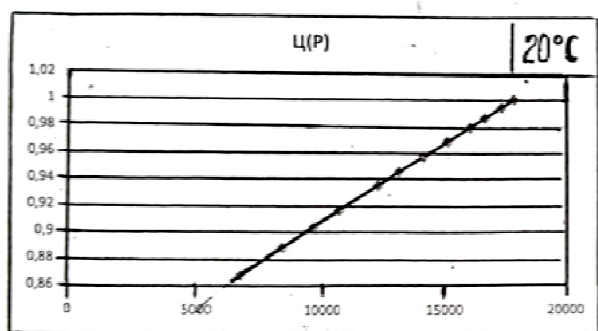


Рис.4. Залежність степені руйнування $\Upsilon(P)$ та величини пружного модуля зсуву $G(P)$ чорної ролевої фарби розрахованих за результатами вимірів та аналізу кривих течіння 1-го виду при температурах (20;50)°C, отриманих за допомогою ротаційного віскозиметра RotoVisko1 та використанням розрахункових формул згідно роботи [1]

$$d = (18 \eta_m K_6 T / \pi \tau_0 P_i^2)^{1/3} \quad (8)$$

де d – середній діаметр сольватованих часточок («кінетичних одиниць руху»); η_m – в'язкість фарби (при $P_i = P'_m$) на границі повного руйнування первинної структури фарби; τ_0 – середній час релаксації часточок пігменту при мінімальному значенні в'язкості фарби ($\eta(P) = \eta_m$) в стані повного руйнування її первинної структури, може бути, (очевидно, приблизно) оцінений за формулою Максвелла:

$$\tau_0 \leq \Theta \approx \eta_m / G_m(P), \quad (9)$$

де: η_m – мінімальна в'язкість фарби; $G_m(P)$ – пружний модуль зсуву її при $\eta(P) = \eta_m$, яка відповідає граничній напрузі зсуву при $P = P'_m$. Розраховані з використанням формул (1-8) залежності $\zeta(P)$ та величини пружних модулів зсуву $G(P)$ при певних температурах з інтервалу (20-60) °С, для прикладу, представлені на рис. 4. Видно, що розраховані залежності $G(P)$ при фіксованій температурі є плавні спадаючі криві, а степе́нь руйнування пружних властивостей $\zeta(P)$ – є плавна нелінійно зростаюча величина від нуля до одиниці при зміні зсувної напруги від 0 до P'_m , при умові що, в'язкість $\eta(P)$ прямує до величини η_m . Чи відповідають отримані розрахункові значення і хід залежності модуля зсуву $G(P)$ від зсувної напруги з виміряними нами експериментально? Про це можна судити, лише проаналізувавши числові масиви значень G' та G'' при різних температурах (20; 30; 40; 50; 60) °С та розглянувши графічні залежності цих модулів від величини зсувної напруги у лінійній шкалі, які представлені на рис. 5.

З розгляду рис. 5 (I-II) та аналізу одержаних значень числових величин G' та G'' можна констатувати:

- 1) залежність G' від зсувної напруги не є плавно спадаючою, а S-подібною

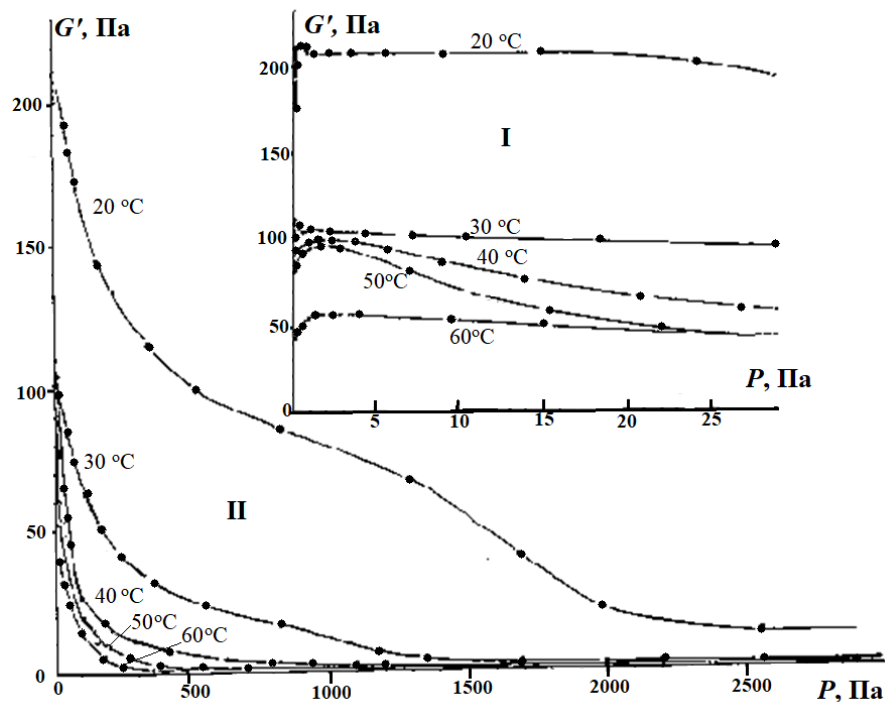


Рис.5 Залежність модуля пружності G' (Па) від величини зсувної напруги (Па) в області малих (I) і великих (II) напруг.

Таблиця 2. Основні рівноважні показники фарби в області їх практичної сталості (на початку і кінці ширини плато)

T, K	G', Pa	G, Pa	$\langle \text{tg}\alpha \rangle$	Зсувна на- пруга P, Pa	Деформація (мм)	Обертальний момент (мНм)
293	202.81	703.77	3.47	0.0727 -59.13	$9.8 \cdot 10^{-5}$ - $1.2 \cdot 10^{-2}$	0.33 -272.72
303	104.75	332.90	3.18	0.034 -28.73	$9.9 \cdot 10^{-5}$ - $8.2 \cdot 10^{-3}$	0.16 -206.7
313	96.72	153.43	1.59	0.18 -20.82	$9.9 \cdot 10^{-5}$ - $1.3 \cdot 10^{-2}$	0.08 - 95.94
323	90.47	113.43	1.25	0.02 -15.32	$9.9 \cdot 10^{-5}$ - $1.3 \cdot 10^{-4}$	0.05 - 70.58
333	47.28	165.62	3.25	0.017 -23.53	$1 \cdot 10^{-4}$ - $1.3 \cdot 10^{-1}$	0.018 - 23.53

кривою (з слабо похилим «плато», з серединною точкою, ширина якого звужується з ростом температури від 20 до 60 °С і практично вироджується в точку при температурі 40 °С.

2) В інтервалі деформуючих напруг $P \approx (0-20; 0-10)$ Па та величин відносної деформації $\lambda \approx 10\%$ величини G' та G'' мають приблизно стале середнє значення після чого їх величина круто спадає по нелінійній залежності з ростом температури, а величини сталого значення модулів G' та G'' зменшуються також по нелінійній залежності, при цьому ширина зони їх сталості фактично прямує до нуля при досягненні температури (40-45)°С. Величини цих значень і відповідні їм інтервали зсувних напруг, відносної деформації $\lambda(\%)$ та обертового моменту зсувної сили представлені в таблиці 2.

З розгляду рис.5 видно, що вид залежностей $G(P)$, при певній температурі, розрахованих за теорією [1] (рис.4) за результатами вимірів повної реологічної кривої течіння за допомогою традиційного реовіскозіметра Roto Visco I при температурах (20-60)°С, не відповідають даним, безпосередньо отриманим за допомогою методики релаксаційної реометрії. При температурі більшій (40-60)°С хід залежностей $G(P)$, розрахованих за формулами (3), (4)(див.рис.3,4) отриманих методом релаксаційної реометрії зовні подібний, плавно спадаючий. Але загальний хід залежності $G(P)$ при температурах (20;40)°С на рис.5 має особливість – точку перегину, яка зникає при температурах вище (40-45)°С, що свідчить про складність структурних змін, які відбуваються у фарбі у процесі її нагрівання та зсувної деформації.

Висновки. На основі викладеного можна зробити наступні узагальнюючі висновки, а саме:

1) механізм процесу деформації реальних тиксотропних фарбових систем дуже складний і, очевидно, мало відповідає ідеалізованим моделям течіння [1-6], а кількісні розрахунки модуля пружності за існуючими вищенаведеними формулами цих теорій, отримані з аналізу кривих течіння за даними ротаційної реометрії, лише якісно відповідають залежності від величини зсувної напруги та температури модуля пружності, визначеного методом прямих вимірювань за допомогою релаксаційного реометра;

2) невідповідність отриманих нами кількісних експериментальних даних для модуля пружності за результатами досліджень методом релаксаційної реометрії та розрахованими (згідно існуючих модельних теорій течіння) за даними ротаційної реометрії обумовлена такими основними причинами: а) великими похибками визначення повних реологічних кривих течіння першого та другого видів в області гранично малих зсувних напруг (0-20)Па та градієнтів швидкості деформації зсуву тиксотропних речовин, які отримуються методом сталості градієнта швидкості зсуву; б) недоліками існуючих моделей течіння тиксотропних систем та розрахункових формул для визначення атомно-молекулярних параметрів речовини; в) залежністю кількісного визначення повної реологічної кривої течіння тиксотропної речовини в широкому діапазоні зсувних напруг та градієнта швидкості деформації від типу застосовуваного вимірювального шпінделя (типу вимірювальної пари – PP;CP).

3) Експериментально визначувані повні реологічні криві течіння першого та другого виду, отримані методом релаксаційної реометрії за допомогою різних вимірювальних пар (PP;CP) шпінделя чисельно співпадають між собою лише в області малих градієнтів зсуву та деформуючих напруг, тобто не залежать від типу вимірювальної пари (див. рис.3).

4) розраховані степені руйнування пружно-в'язкісних властивостей фарбової структури у процесі її нагрівання та дії зсувної деформуючої напруги повторює хід залежності повної реологічної кривої першого виду, отриманої методом постійності деформації зсуву у процесі зміни деформуючої напруги і температури і може використовуватись лише для якісної оцінки руйнівної дії силового та температурного впливу на її структурно-енергетичний стан; 5) залежність комплексної в'язкості досліджуваної фарби від деформуючої напруги та температури показує, що вона має вид різко спадаючої кривої в області малих значень зсувної напруги, характер зміни, якої властивий лише псевдопластичним рідиноподібним системам, очевидно, з одним середнім значенням часу максвелівської релаксації. Використовуючи отримані значення складової комплексної в'язкості $\eta'(P, T)$ та значення пружного модуля G' , можна більш точно оцінювати температурну залежність пружно-в'язкісних властивостей фарбових систем від величини зсувної напруги та градієнта швидкості зсуву, особливо при дуже малих їх значеннях, тобто в області їх пружної (гуківської) деформації.

Література:

1. Овчинников П. Ф. Реология тиксотропных систем. /П. Ф.Овчинников, Н.Н. Круглицкий, Н.В. Михайлов. К.: Наукова думка. 1972. – 190с.
2. Малкин А.Я. Реология: концепции, методы, приложения. / А.Я.Малкин, А.И. Исаев. – СПб.: Профессия, 2007. – 560с.
3. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии./пер. с англ. И.В. Лавыгина; под ред. В.Г.Куличихина. – М.: Колос С. 2003.- 312с.
4. Бибики Е.Е. Реология дисперсных систем. Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. -172с.

5. Кирсанов Е.А. Матвеев В.Н. Неньютоновское поведение структурированных систем. Москва: Техносфера, 2016. – 384с.
6. Михайлов Н.В., Лихтгейм А.М. Исследование полных реологических кривых и формулы для расчета эффективной вязкости структурированных жидкостей с молекулярно-кинетической интерпретацией входящих в них членов // Коллоид. журн.– 1955. – Т. XVII, №5. – С.364-378.
7. Дорош А.К., Шевчук А.В., Стародуб М.П., Гуцол О.О. Реологічні властивості ролевих офсетних фарб HEATSET серії IRGASTAR GF багатоцільового призначення // Вісник СевНТУ. – Вип.120: Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. праць. – Севастополь: Вид.-во СевНТУ, 2011. – С.146-154.

Dorosh A. K., Shevchuk A. V.

The elastics – viscosity properties of printing role offset inks according to relaxation rheometry

Summary

Direct relaxation rheometry methods carried out quantitative measurements and established qualitative patterns of the dependencies of the main elastic-viscous characteristics for the Cybo black ink system in the temperature range of (293-333)°K of its technological resistance, namely : the equilibrium elastic modulus and the angle loss modulus and loss angle tangent; complex viscosity and full rheological flow curves of the first shear rate and second (viscosity) of the species; degree of destruction of elastic and viscous properties depending on the value: shear stress; shear strain rate ; relative or absolute deformation on the sample and its temperature.

Дорош А.К., Шевчук А.В.

Пружно-в'язкісні властивості ролевої офсетної чорної фарби за даними релаксаційної реометрії

АНОТАЦІЯ

Прямими методами релаксаційної реометрії проведені кількісні вимірювання та встановлені якісні закономірності ходу залежностей основних пружно-в'язкісних характеристик для чорної коллоїдно-дисперсної фарбової системи фірми Cybo в інтервалі температур (293-333) °K її технологічної стійкості, а саме: рівноважного модуля пружності (G') та модуля втрат (G''); кута та тангенса кута втрат; комплексної в'язкості та повних реологічних кривих течіння першого (швидкості зсуву) та другого (в'язкості) видів; ступені руйнування пружних та в'язкісних властивостей у залежності від величини: зсувної деформуючої напруги; швидкості деформації зсуву; відносної (або абсолютної) деформації взірця та його температури.