

Г.О. Сіренко, О.І. Федоришин

## Вплив температури кінцевої термообробки карбонових волокон на стадії карбонізації при 1473-1623 К на газовиділення у високому вакуумі

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76000, Україна*

Приведені результати мас-спектральних досліджень. Проаналізовано зміну співвідношення  $CO/CO_2$  від температури випробувань для кінцевої температури термообробки 1473 та 1623 К. Виявлено, що вплив кінцевої температури термообробки в межах 1473-1623 К на газовиділення мас 2, 12, 28 та 44 із карбонових волокон на основі гідратцелюлози не суттєвий. Газовиділення з карбонових волокон зростає із збільшенням температури випробування від 393 до 1073 К.

**Ключові слова:** карбонові волокна, кінцева температура термообробки, температура випробувань, мас-спектри.

*Стаття постуила до редакції 22.07.2006; прийнята до друку 10.10.2006.*

### Вступ

При температурах 1473-1623 К процес карбонізації карбонових волокон наближається до завершення [1]. Зокрема, при досягненні кінцевої температури термообробки ( $T_k$ ) 1473 К зменшується кількість дефектів упаковки шарів та зв'язків сітки. А зі збільшенням  $T_k$  до 1623-1823 К досягається максимальна міцність волокна та внаслідок цього зменшується шорсткість поверхні [2]. Зміни, які відбуваються з волокнами повинні відбиватися на загальному вигляді мас-спектрограм.

Досліджено, що зі збільшенням температури випробувань інтенсивність газовиділення з поверхні всіх карбонових волокон, отриманих за однією технологією й які мають близькі фізико-механічні властивості у високому вакуумі, зростає, проте зі збільшенням температури карбонізації від 1123 до 2673 К інтенсивність газовиділення зменшується, що пов'язано з упорядкуванням структури волокна. Залежність сумарного газовиділення від кінцевої температури термообробки карбонових волокон є лінійною для всіх температур випробувань [3].

Крім того відомо, що на співвідношення інтенсивностей газовиділення  $CO$  та  $CO_2$  із карбонових волокон впливає температура випробувань та температура їх кінцевої термообробки [3].

Мета роботи полягала в тому, щоб дослідити вплив температури кінцевої термообробки 1473 та 1623 К на інтенсивність газовиділень із карбонових

волокон та на зміну співвідношення  $CO/CO_2$  при температурах випробувань 373-1073 К.

### І. Експериментальна частина

**Об'єкти досліджень.** Досліджували частинно карбонізовані волокна, які були отримані з гідратцелюлозної тканини (ГЦ-тканини) із застосуванням суміші антипіренів  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$  та  $(NH_4)_2HPO_4$  [4]. Оброблену антипіренами ГЦ-тканину термооброблювали в азоті при  $723 \pm 20$  К із протягуванням через руркову піч опору „Таммана” зі швидкістю 150 м за годину із наступною відмивкою – операцією видалення вільних поверхневих сполук [5] і подальшим відпалюванням в азоті при температурах  $(1473, 1623) \pm 50$  К. Відповідно отримували вуглецеві тканини: ТГН-Т-1200 ( $T_k = 1473$  К); ТГН-Т-1350 ( $T_k = 1623$  К). Досліджувані низькоміцні, низькомодульні волокна тканин ТГН-Т мали близькі фізико-механічні характеристики [4]: діаметр  $d_B = 9-12$  мкм, відносне подовження при розриві  $\epsilon = 2-5$  %, міцність при розтягуванні  $\sigma_B = 0,3 \pm 0,05$  ГПа, модуль пружності  $E_B = 30 \pm 10$  ГПа.

Тканини різали на шматки  $\sim 4 \times 4$  см і подрібнювали 3 хв. у дробарці МРП-1 при 7000 обертів руху ножів за хвилину. Таким чином отримували дисперсії карбонових волокон, розподілених за законом Вейбулла за довжинами в межах 20-1500 мкм з основною фракцією 300-

600 мкм [6].

**Мас-спектральний аналіз** проводили для виявлення інтенсивності газовиділення, розподілу інтенсивностей молекулярних іонів у спектрі та зміни співвідношення інтенсивностей піків, що відповідають  $\text{CO}/\text{CO}_2$ , від температури випробувань та кінцевої температури термообробки карбонових волокон. Зйомку мас-спектрів здійснювали на модифікованому спектрометрі МХ-7301 зі спеціально розробленою вакуум-комутаційною системою напуску газів та пастками [7]. Спектри знімали в діапазоні температур  $T = 393\text{-}1073\text{ К}$ .

Для дослідів використовували наважки 15 мг. Реєстрація й обробка мас-спектрів проводилася з використанням системи обробки даних Д-50 на базі ЕОМ „Нова 2110”.

Результати представляли в системах координат  $J/J_{\max} \sim m/e$ ,  $\lg J \sim T$ ,  $\xi \sim T$ , де  $J/J_{\max}$  – інтенсивність піку молекулярних іонів відносно максимального, %;  $J$  – інтенсивність поліізотопного піку молекулярних іонів, в.о.;  $J_{\max}$  – найбільший пік при заданій температурі;  $m/e$  – масове число;  $\lg J$  – десятковий логарифм інтенсивності піку молекулярних іонів;  $\xi$  – співвідношення інтенсивностей газовиділення  $\text{CO}/\text{CO}_2$ ;  $T$  – температура випробувань, К.

За допомогою системи pomp, пасток, вентилів та прогріву до  $1073\text{-}1273\text{ К}$  у камері для аналізу досягали вакууму: при відсутності натікання газів

$1 \cdot 10^{-9}\text{-}1 \cdot 10^{-8}$  мм рт. ст. при  $393\text{-}1073\text{ К}$  відповідно, при натіканні –  $2,2 \cdot 10^{-7}\text{-}2 \cdot 10^{-6}$  мм рт. ст. при зміні температури випробувань від  $393$  до  $1073\text{ К}$ . Для кожної температури знімали залишковий спектр камери, інтенсивність піків якого складала  $0,5\text{-}10\%$  від спектру зразка за відповідними масовими числами [7].

## II. Результати та обговорення

**Мас-спектральний аналіз.** На мас-спектрах виявлено такий набір масових чисел: 1, 2, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 22, 26, 27, 28, 29, 32, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 55, 56, 57, 58, 69 найбільш інтенсивні серед яких: 2, 12, 16, 18, 28 та 44 (табл. 1). Віднесення масових чисел молекулярних іонів (табл. 2) здійснено за [2,4, 5,8-15]. Як видно з табл. 1, інтенсивність газовиділень із поверхні обох волокон майже однакова і зі зростанням температури випробувань від  $393$  до  $1073\text{ К}$  збільшується, особливо це помітно для більш інтенсивних піків.

На рис. 1 показані розподіли інтенсивностей піків газовиділення відносно максимального піку при температурах випробувань  $573$  та  $1073\text{ К}$  для карбонових волокон із кінцевою температурою термообробки  $T_k = 1473, 1623\text{ К}$ . Як видно з рис. 1, для кінцевої температури термообробки  $1473\text{ К}$

Таблиця 1

Результати мас-спектрального дослідження волокна ТГН-Т

Масове число	Інтенсивність основних піків карбонового волокна ТГН-Т, в.о.							
	$T_k = 1473\text{ К}$				$T_k = 1623\text{ К}$			
	393 К	573 К	873 К	1073 К	393 К	573 К	873 К	1073 К
1	0,36	0,27	0,40	0,80	0,11	0,13	0,41	0,74
2	0,50	0,50	1,90	19,2	0,22	0,21	2,70	15,70
12	0,20	0,70	1,95	3,80	0,03	0,69	1,91	3,60
14	0,08	0,14	0,35	0,70	0,03	0,21	0,36	0,62
15	0,07	0,09	0,18	0,20	0,05	0,12	0,14	0,16
16	0,40	1,07	1,93	2,60	0,08	1,02	2,00	2,8
17	0,75	0,95	0,80	0,70	0,29	0,91	1,00	0,93
18	2,52	3,30	2,98	2,80	0,93	3,03	3,42	3,31
22	-	0,10	0,13	0,07	0,02	0,11	0,16	0,1
26	0,1	0,10	0,21	0,34	0,14	0,13	0,2	-
27	0,44	0,44	0,63	1,28	0,62	0,57	0,62	0,66
28	1,96	5,40	22,80	40	2,96	4,45	24,6	50
29	0,57	0,58	0,70	3,36	0,76	0,60	1,1	-
32	0,02	0,06	-	-	0,05	0,05	0,05	-
39	0,54	0,54	0,44	0,42	-	0,67	0,6	-
40	0,16	0,18	0,15	0,16	-	0,12	3	-
41	1,27	1,14	0,80	0,77	1,15	1,36	0,7	-
42	0,30	0,30	0,22	0,21	0,35	0,26	4,55	-
43	1,00	0,95	0,58	0,56	1,30	1,17	2,1	0,60
44	4,70	11,70	11,90	23,04	2,13	9,14	2,4	9,3
55	-	-	-	-	-	1,07	-	1,19
56	-	-	-	-	-	0,38	-	0,99
57	-	-	-	-	-	0,94	-	-
58	-	-	-	-	-	2,4	-	-
68	-	-	-	-	0,45	0,64	-	-

Таблиця 2

Віднесення масових чисел мас-спектральних досліджень карбонових волокон  
[2, 4, 5, 8 - 15]

Масові числа	Віднесення	Масові числа	Віднесення
1	H <sup>+</sup>	32	(O <sub>2</sub> ) <sup>+</sup> , (CH <sub>3</sub> OH) <sup>+</sup> , (CO) <sup>+</sup>
2	H <sub>2</sub> <sup>+</sup>	39	(C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> ) <sup>+</sup>
12	C <sup>+</sup>	40	(C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> ) <sup>+</sup> , (C <sub>2</sub> O) <sup>+</sup> , Ar <sup>+</sup>
14	C <sup>+</sup> , (CH <sub>2</sub> ) <sup>+</sup> , N <sup>+</sup>	41	
15	(CH <sub>3</sub> ) <sup>+</sup> , N <sup>+</sup>	42	((CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> ) <sup>+</sup> , (C <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)) <sup>+</sup> , (C <sub>2</sub> (OH)) <sup>+</sup> , (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> ) <sup>+</sup>
16	(CH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup> , O <sup>+</sup>	43	(C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> ) <sup>+</sup>
17	(H <sub>2</sub> O) <sup>+</sup> , (OH) <sup>+</sup> , (CH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup> , O <sup>+</sup>	44	(CO <sub>2</sub> ) <sup>+</sup> , (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) <sup>+</sup>
18	(H <sub>2</sub> O) <sup>+</sup> , O <sup>+</sup> , (CH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>	55	(C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> ) <sup>+</sup>
22		56	((CO) <sub>2</sub> ) <sup>+</sup> , (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> ) <sup>+</sup> , (C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O) <sup>+</sup>
26	((CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ) <sup>+</sup> , (CO) <sup>+</sup>	57	(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sup>+</sup>
27	(CO) <sup>+</sup> , (N <sub>2</sub> ) <sup>+</sup> , (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> ) <sup>+</sup>	58	(C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> ) <sup>+</sup> , (C(OH)) <sub>2</sub> <sup>+</sup> , (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COH) <sup>+</sup>
28	(CO) <sup>+</sup> , (N <sub>2</sub> ) <sup>+</sup> , ((CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ) <sup>+</sup>	68	(C <sub>3</sub> (O <sub>2</sub> ) <sup>+</sup> )
29	(CO) <sup>+</sup> , (N <sub>2</sub> ) <sup>+</sup> , ((CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ) <sup>+</sup> , (C(OH)) <sup>+</sup>		

максимальним (100 %) є пік маси 44 при температурах випробувань 393 – 573 К, а при 873 – 1073 К максимальним є пік - 28. Пік маси 2 при температурах до 873 К не перевищує 11 %, але при 1073 К становить 48 %. Пік маси 18 навпаки при 393 К значний (53 %), а при збільшенні температури випробувань до 1073 К поступово зменшується до 7 %.

Для кінцевої температури термообробки 1623 К максимальним (100 %) є пік маси 28 при температурах випробувань 393, 673, 873 та 1073 К, а при 473 і 573 К – пік 44. Пік маси 2 є значним лише при температурі 1073 К і становить 31 %. Внесок інтенсивності піку маси 18 складає близько: 31, 46, 33, 46, 14, 7 % для температур випробувань 393, 473, 573, 673, 873, 1073 К відповідно.

На рис. 2 представлені графіки залежностей газовиділень характерних піків молекулярних іонів із масою 2 (H<sub>2</sub><sup>+</sup>), 12 (C<sup>+</sup>), 18 (H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>), 28 (CO<sup>+</sup>), 44 (CO<sub>2</sub><sup>+</sup>) від температури випробувань для карбонових волокон із T<sub>к</sub> = 1473 та 1623 К. Залежність має

нелінійний характер. Інтенсивність газовиділень зі збільшенням температури випробувань зростає. Для маси 2 різниця між газовиділеннями із волокон спостерігається лише до температури близько 673 К. Така ж закономірність помітна і для маси 12. Для m/e = 18 спостерігається падіння інтенсивності газовиділення із поверхні волокон при досягненні температури більше 800 К. А для маси 28 зі збільшенням температури випробувань різниці у газовиділеннях з поверхні волокон практично немає. Для m/e = 44 максимум газовиділень досягається при температурі близько 750 К. Пошук апроксимації здійснювали для залежностей  $\lg J \sim T [y = f(x)]$  у вигляді:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x; \quad (1)$$

$$y = b_0 + b_1 \cdot \ln x; \quad (2)$$

$$y = b_0 \cdot x^{b_1}; \quad (3)$$

$$y = b_0 \cdot \exp(b_1 \cdot x); \quad (4)$$

$$y = b_0 + b_1 \cdot x + b_{11} \cdot x^2. \quad (5)$$

Максимальне наближення (оцінка за R<sup>2</sup> [16]) було отримане при апроксимації експериментальних

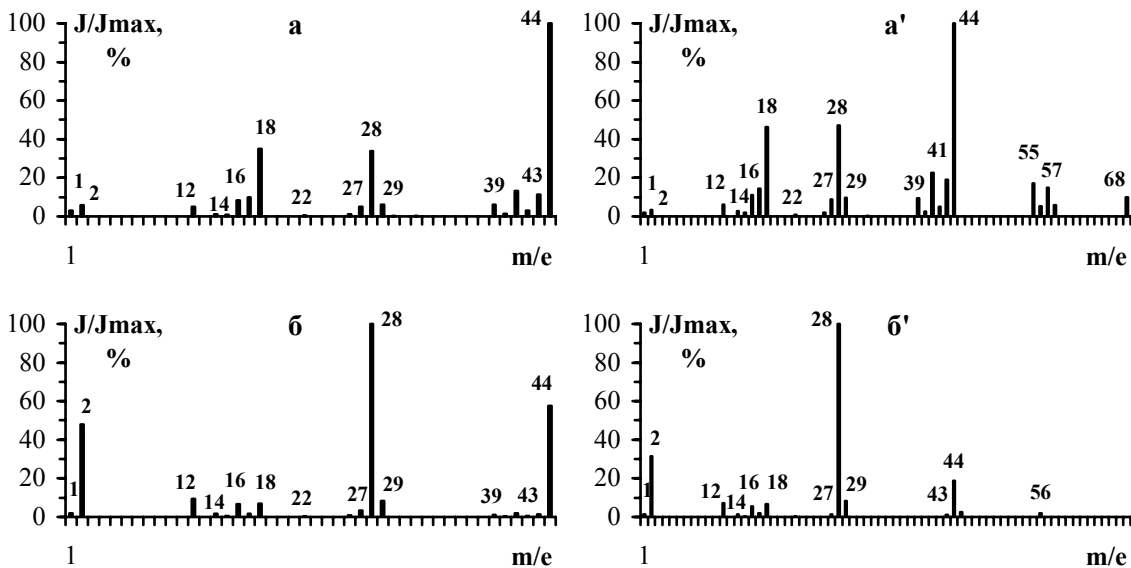
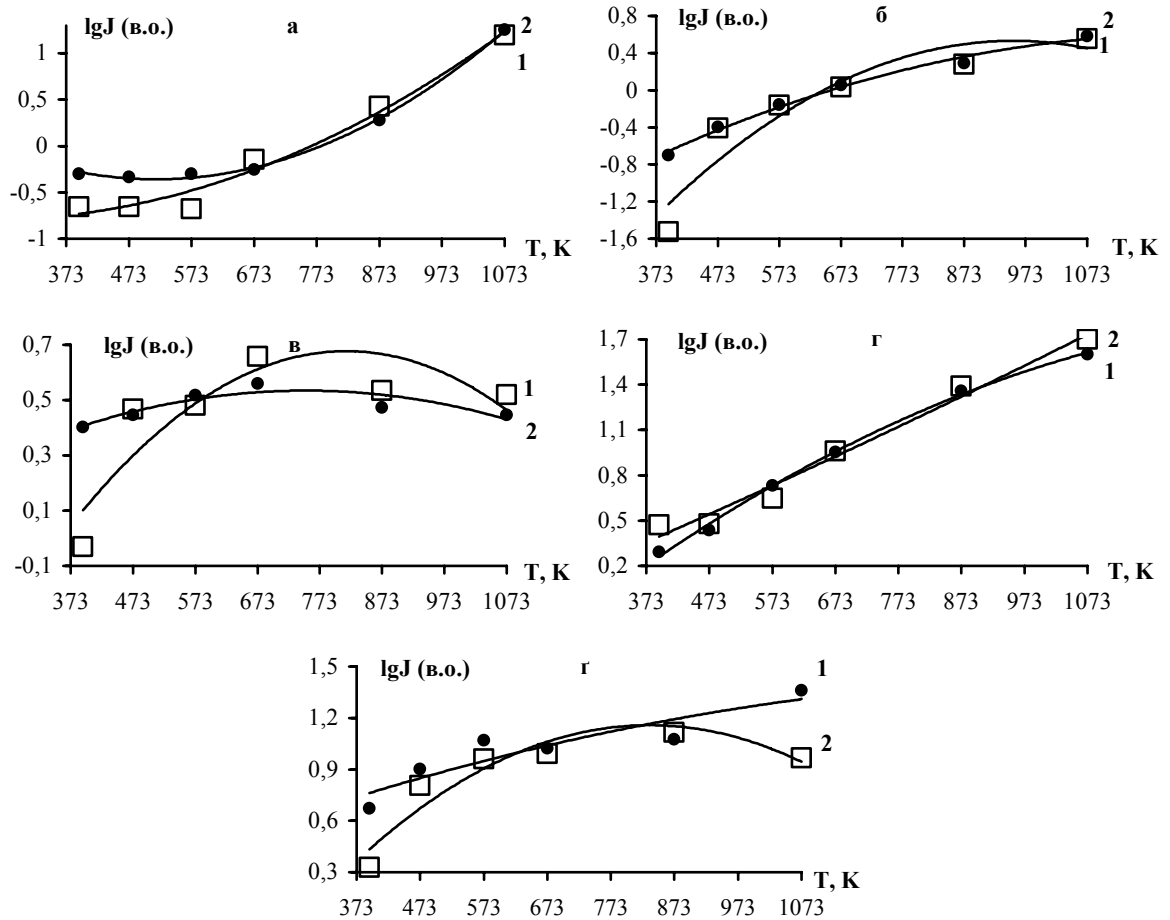


Рис. 1. Розподіл інтенсивностей піків відносно максимального піку при температурах випробувань 473 К (а, а') та 1073 К (б, б') для карбонових волокон із температурою кінцевої термообробки 1473 К (а, б); 1623 К (а', б').

Вплив температури кінцевої термообробки карбонових волокон на стадії карбонізації...



**Рис. 2.** Графіки залежностей інтенсивностей молекулярних іонів мас  $2(\text{H}_2^+)$  (а);  $12(\text{C}^+)$  (б);  $18(\text{H}_2\text{O}^+)$  (в);  $28(\text{CO}^+)$  (г);  $44(\text{CO}_2^+)$  (r) від температури випробувань для карбонових волокон із  $T_{\text{к}}$ : 1473 К (1), 1623 К (2).

**Таблиця 3**

Апроксимація результатів мас-спектрального аналізу карбонових волокон з температурами карбонізації  $T_{\text{к}} = 1473$  і  $1623$  К при випробуваннях від 393 до 1073 К

m/e	$T_{\text{к}}$ , К	Апроксимуючий поліном	$R^2$
2	1473	$\lg J = 1,0247 - 0,0054 \cdot T + (0,5 \cdot T^2) \cdot 10^{-5}$	0,9984
	1623	$\lg J = -0,6160 - 0,0015 \cdot T + (0,3 \cdot T^2) \cdot 10^{-5}$	0,9784
12	1473	$\lg J = -1,5209 + 0,0028 \cdot T + (0,8 \cdot T^2) \cdot 10^{-6}$	0,9956
	1623	$\lg J = -2,0750 + 0,0043 \cdot T + (0,2 \cdot T^2) \cdot 10^{-5}$	0,9906
18	1473	$\lg J = -0,0252 + 0,0015 \cdot T + (0,1 \cdot T^2) \cdot 10^{-5}$	0,7703
	1623	$\lg J = 1,4662 + 0,0053 \cdot T + (0,3 \cdot T^2) \cdot 10^{-5}$	0,7592
28	1473	$\lg J = -1,0481 + 0,0038 \cdot T + (0,1 \cdot T^2) \cdot 10^{-5}$	0,9972
	1623	$\lg J = 1,0247 - 0,0054 \cdot T + (0,5 \cdot T^2) \cdot 10^{-5}$	0,9811
44	1473	$\lg J = 1,0247 - 0,0054 \cdot T + (0,5 \cdot T^2) \cdot 10^{-5}$	0,8354
	1623	$\lg J = 1,0247 - 0,0054 \cdot T + (0,5 \cdot T^2) \cdot 10^{-5}$	0,9012

даних поліномом 2-го порядку (5):

$$\lg J = b_0 + b_1 \cdot T + b_{11} \cdot T^2 \quad (\text{табл. 3}), \quad (6)$$

де  $J$  – інтенсивність газовиділення з карбонових волокон (в.о.);  $T$  – температура випробувань (393 – 1073 К).

Оцінка  $R^2$  [16] наближення полінома 2-го порядку до експериментальних даних для мас  $m/e = 2, 12, 28$  і  $44$  знаходиться в межах  $0,8354 - 0,9984$  лише для мас 17, 18 це наближення становить  $0,7592-0,7703$  (але і цього достатньо для надійної апроксимації).

Таблиця 4

Результати дисперсійного аналізу інтенсивностей піків газовиділення за температурами випробувань 393 - 1073 К для двох температур карбонізації ( $T_k = 1473$  і  $1623$  К)

m/e	$S_1^2 (T_k = 1473 \text{ K})$	$S_2^2 (T_k = 1623 \text{ K})$	$F_{\text{розр.}}$	$F_{\text{табл.}}$	$\xi$
2	56,88372	37,8594	1,501	5,05	-
12	1,8106	1,5812	1,145	5,05	-
14	0,0562	0,0403	1,395	5,05	-
16	0,6857	0,9511	1,387	5,05	-
17	0,0174	0,1009	5,800	5,05	1,15
18	0,1595	1,3918	8,726	5,05	1,73
28	224,7702	349,7525	1,556	5,05	-
44	38,5488	13,6504	2,824	5,05	-

Таблиця 5

Результати дисперсійного аналізу інтенсивностей піків газовиділення за масовими числами для двох температур карбонізації ( $T_k = 1473$  і  $1623$  К)

$T, \text{ K}$	$S_1^2 (T_k = 1473 \text{ K})$	$S_2^2 (T_k = 1623 \text{ K})$	$F_{\text{розр.}}$	$F_{\text{табл.}}$	$\xi$
393	2,5531	1,1961	2,135	3,79	-
473	6,0000	4,6721	1,284	3,79	-
573	15,5971	9,3101	1,675	3,79	-
673	16,2814	14,9357	1,090	3,79	-
873	61,9248	71,8016	1,159	3,79	-
1073	207,4419	276,5553	1,333	3,79	-

Як видно з рис. 1 і 2, зміна кінцевої температури термообробки в межах 1473 – 1623 К суттєво (окрім маси 18) не впливає на інтенсивність газовиділень мас 2, 12, 28 та 44 із поверхні карбонових волокон.

На рис. 3 показано графік зміни співвідношення інтенсивностей піків мас 28 ( $\text{CO}^+$ ) та 44 ( $\text{CO}_2^+$ ) при зміні температури випробувань для температур кінцевої термообробки 1473 та 1623 К. Як видно з рис. 3, при  $T_k = 1623$  К це співвідношення  $\xi$  різко зростає зі збільшенням температури випробувань до 1073 К. При цій температурі значно зростає інтенсивність газовиділення молекулярного іону з масою 28, у той час як для іону 44 – зміни менші. Це вказує на те, що в результаті термообробки на поверхні утворюються комплекси з СО високої стійкості, які розкладаються при підвищенні температури випробувань.

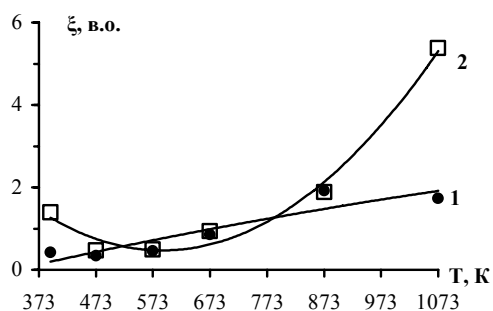


Рис. 3. Графіки залежності співвідношення інтенсивностей піків 28 та 44 від температури випробувань для карбонових волокон із  $T_k$ : 1473 К (1), 1623 К (2).

Статистичний аналіз різниці інтенсивностей газовиділення за температурами випробувань та за масовими числами здійснено для двох температур карбонізації 1473 та 1623 К за критерієм Фішера [17-19] за процедурою [17] використовуючи критичне (табличне) значення [18]. Результати дисперсійного аналізу інтенсивностей піків газовиділення за температурами випробувань 393-1073 К для двох температур карбонізації ( $T_k = 1473$  і  $1623$  К) приведені в табл. 4. Як видно з табл. 4 для мас 2, 12, 14, 16, 28 і 44 розсіяння за температурами випробувань статистично незначуще для температур карбонізації 1473 та 1623 К і лише для мас 17, 18 ця відмінність статистично суттєва (оцінка цієї відмінності дана за коефіцієнтом  $\xi$ ):

$$\xi = (F_{\text{розр.}}/F_{\text{табл.}}),$$

де  $F_{\text{розр.}}$  – розрахункове (емпіричне) значення критерію Фішера;  $F_{\text{табл.}} \{ \alpha = 0,05; f_{\text{max}} = 5; f_{\text{min}} = 5 \} = 5,05$  [18];  $\alpha$  – рівень значущості критерію (імовірність помилки при прийнятті нульової гіпотези);  $f_{\text{max}}, f_{\text{min}}$  – число ступенів вільностей.

Результати дисперсійного аналізу інтенсивностей піків газовиділення за масовими числами для двох температур карбонізації ( $T_k = 1473$  і  $1623$  К) приведені в табл. 5. Як видно з табл. 5 для температур випробувань 393, 473, 573, 673, 873 та 1073 К розсіяння за масами 2, 12, 14, 16, 28 і 44 статистично незначуще для температур карбонізації 1473 та 1623 К ( $F_{\text{табл.}} \{ \alpha = 0,05; f_{\text{max}} = 7; f_{\text{min}} = 7 \} = 3,79$  [18]) вибране зі статистичної таблиці для рівня значущості  $\alpha = 0,05$  і числа ступенів вільностей  $f_{\text{max}} = 7, f_{\text{min}} = 7$ ).

## Висновки

Зі збільшенням температури випробувань від 393 до 1073 К інтенсивність газовиділення з поверхні карбонових волокон, зростає. Збільшення кінцевої температури карбонізації від 1473 до 1623 К не здійснює суттєвого впливу на газовиділення мас 2, 12, 28 та 44 з поверхні цих волокон, але впливає на інтенсивність газовиділення маси 18. Очевидно, що виділення з поверхні карбонового волокна зв'язаної і сорбційної вологи залежить від температури карбонізації цього волокна.

Кінцева температура термообробки помітно впливає на співвідношення інтенсивностей газовиділення CO та CO<sub>2</sub> із карбонових волокон при зміні температури випробувань від 393 до 1073 К.

**Сіренко Г.О.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної і прикладної хімії;  
**Федоришин О.І.** – аспірант кафедри теоретичної і прикладної хімії.

- [1] А.А. Конкин. *Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы*. Химия, М. 376 с. (1974).
- [2] Г.А. Сиренко, В.П. Свидерский, В.Д. Герасимов, В.З. Никонов. *Антифрикционные термостойкие полимеры*. Техника, К. 246 с. (1978).
- [3] Г.О. Сіренко, О.І. Федоришин, Л.Я. Мідак. Вплив температури термообробки на газовиділення з карбонових волокон у високому вакуумі // *Фізика і хімія твердого тіла*, 7(2), сс. 274-288 (2006).
- [4] Г.О. Сіренко, О.І. Федоришин. Вплив інтенсивної хемо-механічної обробки на поверхневі властивості вуглецевих волокон і графітів // *Вопросы химии и химической технологии*, (1), сс. 134-140 (2004).
- [5] Г.О. Сіренко, О.І. Федоришин. Вплив операції видалення поверхневих проміжних сполук та термомеханічної дії на активність поверхні частково-карбонізованих вуглецевих волокон, отриманих із гідратцелюлози // *Полімерний журнал*, 26(2), сс. 93-101 (2004).
- [6] Г.О. Сіренко, О.В. Шийчук. Математичний опис процесу дроблення вуглецевих волокон для наповнення полімерів // *Композиційні полімерні матеріали*, 25(1), сс. 49-53 (2003).
- [7] О. Федоришин. Мас-спектральний метод дослідження вуглецевих волокон і карбопластиків, отриманих за ХМА-технологією // *Вісник Прикарпат. ун-ту ім. Василя Стефаника. Серія «Хімія»*. (II), сс. 64-69 (2002).
- [8] Д.Г. Флом, А.Д. Халтнер, К.А. Гаулин. Трение и раскалывание ламеллярных тел в глубоком вакууме // *Новое о смазочных материалах*. Химия, М. сс. 201-222 (1967).
- [9] *Химические и физические свойства углерода*. / Под ред. Ф. Уокера. Мир, М. 368 с. (1969).
- [10] С.В. Шулепов. Физика углеродистых материалов. Металлургия, М. 256 с. (1972).
- [11] А.Р. Уббелоде, Ф.А. Льюис. *Графит и его кристаллические соединения*. Мир, М. 256 с. (1965).
- [12] Yu.M. Zhorov. *Thermo-dynamics of Chemical Processes*. MIR, М. 520 p. (1987).
- [13] A.K. Veau, K.S. Newman. The effect of carbon on thermal donor formation in heat treated pulled silicon crystals // *J. Phys. And Chem. Solids*, 53(2), pp. 255-258 (1972).
- [14] И.В. Крагельский, И.М. Любарский, А.А. Гусяков и др. *Трение и износ в вакууме*. Машиностроение, М. 216 с. (1973).
- [15] Р.А. Хмельницкий, И.М. Лукашенко, Е.С. Бродский. Пиролитическая масс-спектрометрия высокомолекулярных соединений. Химия, М. 280 с. (1980).
- [16] Г.О. Сіренко, О.В. Кузишин. Зношування твердих тіл при наявності на їх поверхнях наноплівки мастильних матеріалів: залежність товщини плівок мінеральних олів від навантаження і температури // *Фізика і хімія твердого тіла*, 7(3), сс. 593-600 (2006).
- [17] М.Н. Степнов. Статистическая обработка результатов механических испытаний. Машиностроение, М. 232 с. (1972).
- [18] Дж. Бендат, А. Пирсол. Измерение и анализ случайных процессов. Мир, М. 408 с. (1971).
- [19] Л.С. Зажигаев, А.А. Кишьян, Ю.И. Романиков. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. Атомиздат, М. 232 с. (1978).

H.O. Sirenko, O.I. Fedoryshyn

## **The Influence of the Last Temperature Treats of the Carbon Fibers on the Stage of Carbonization of 1473-1623 K on the Gas Distinguished in the High Vacuum**

*Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University,  
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine*

It is shown the results of the mass-spectrum research. The analysis change balance of CO/CO<sub>2</sub> from the temperature of the investigation for the last temperature treats of 1473 and 1623 K. The research that the influence of the last temperature treat from 1473 to 1623 K on the gas distinguished by the mass of 2, 12, 28 and 44 from the carbon fibers by the hydrocellulose is not considerable.