

## Сипкість (текучість) порошку та її вимірювання.

### II. Експериментальне визначення сипкості однокомпонентних порошкових систем

К. К. Нгуен, К. О. Гогаєв, О. К. Радченко

*Визначено сипкість, відносну насипну густину, відносну густину утруски, середній розмір частинок, питому поверхню та фрикційний індекс 14 порошків алюмінію, заліза, силікобарію та феросиліцію різних гранулометричних складів. Встановлено, що для всіх досліджених порошків сипкість, визначена з використанням лійок з діаметрами отворів 2,5 та 5 мм, зменшується зі збільшенням розміру частинок. Не встановлено чіткої кореляції між фрикційним індексом та сипкістю, що ймовірно зумовлено різною густиною матеріалу частинок, а для порошків однакового складу — різним розміром частинок.*

У першій частині даної роботи розглянуто методи визначення сипкості порошків та фактори, що на неї впливають [1].

Досліджено 14 порошків алюмінію, заліза, силікобарію та феросиліцію різних гранулометричних складів. Деякі властивості матеріалів частинок досліджених порошків наведені у табл. 1, а властивості самих порошків — у табл. 2. SEM фотографії частинок приведені на рис. 1.

Визначали відносну насипну густину (ВНГ)  $\rho_{\text{нас}}$  порошків за ДСТУ 2495-94, відносну густину утруски (ВГУ)  $\rho_{\text{утр}}$  за ГОСТ 25279-82, середній розмір частинок (мікроскопічним методом), питому поверхню (методом газової абсорбції — БЕТ), фрикційний індекс (табл. 3). Фрикційний індекс, або Hausner Ratio, розраховували за формулою

$$i = \rho_{\text{утр}} / \rho_{\text{нас}}. \quad (1)$$

Порошки, матеріал яких під час формування знаходився у холодному стані, вибрані з широким діапазоном як ВНГ (від 0,3 до 0,6), так і твердості матеріалу частинок (табл. 1). Структури литих матеріалів феросиліцію марки ФС-75, силікобарію (~20% (мас.) Ва), силікокальцію Ск-25 та РЗМ марки ФС30РЗМ30 включають крихку голчасту складову у вигляді силіцидів, що зумовлює їх крихкість, тому методом одержання цих порошків був вибраний розмел з використанням шокової дробарки та прокатного стану з одним приводним валком (діаметр валків — 120 мм).

**Т а б л и ц я 1. Властивості матеріалів порошків [1, 2]**

Порошок	Марка порошку або матеріалу, з якого він одержаний	Твердість HRC	$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	Густина речовини, г/см <sup>3</sup>
Fe відновл.	—	—	1539	7,87
Al	ПА-2	—	660	2,71
FeSi	ФС-75	57(65)	1200—1300	3,43
SiBa	СБ-20	37	1200—1300	3,94

© К. К. Нгуен, К. О. Гогаєв, О. К. Радченко, 2009

**Т а б л и ц я 2. Властивості порошків FeSi та SiBa**

Порошок (фракційний склад, мм)	$d_{\text{ср}}$ , мкм	Питома поверхня, $\text{м}^2/\text{г}$	ВНГ	ВГУ
FeSi (0,1—0,063)	82	0,22	0,395	0,598
SiBa (0,1—0,063)	82	0,63	0,291	0,385



Рис. 1. SEM зображення частинок Fe відновленого (а), Al (б), FeSi (в), SiBa (з).

Сипкість порошків визначали з використанням стандартної лійки з діаметром отвору 2,5 мм і лійки з діаметром отвору 5 мм (табл. 3, рис. 2—4). Для всіх досліджених порошків сипкість зменшується (час витікання збільшується) із зростанням розміру частинок. Результати вимірювання сипкості піддавали статистичній обробці, зокрема визначали її стандартне відхилення, коефіцієнт варіації та довірчий інтервал.

Завдяки використанню двох лійок для визначення сипкості порошків вдалось розрахувати коефіцієнт  $K$  та показник степені  $n$  у формулі

$$K = \frac{t \cdot r^n}{F}, \quad (2)$$

де  $t$  — час витікання, с.

Результати розрахунків наведені у табл. 4.

Коефіцієнт  $K$ , що був запропонований як характеристика сипкості порошків, змінюється від 5,06 для залізного порошку до 14,50 для порошку силікобарію. Зі зменшенням розміру частинок для порошків алюмінію та силікобарію величина  $K$  зменшується та має приблизно однакові величини.

Показник  $n$  для досліджених порошків змінюється в інтервалі 2,06—2,61. Найменша величина  $n$  — у порошку заліза відновленого, порошок алюмінію марки ПА-2 має проміжні значення  $n$  (2,35—2,39), а найбільший  $n$  — у порошку силікобарію (2,46—2,61).

На рис. 3 наведено залежності сипкості від фрикційного індексу. Форма частинок (рис. 1) впливає як на фрикційний індекс, так і на сипкість. Її ускладнення повинно збільшувати величину фрикційного індексу та зменшувати сипкість порошків, але на наведених графіках цього не спостерігається. Відсутність чіткої кореляції між фрикційним індексом та сипкістю ймовірно зумовлена різною густиною матеріалу частинок, а для порошків однакового хімічного складу — різним розміром їх частинок.

**Т а б л и ц я 3. Властивості досліджених порошків**

Середній розмір частинок, мкм	Діаметр лійки, мм	Сипкість, с/50 г	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації, %	Довірчий інтервал	ВНГ, г/см <sup>3</sup>	ВГУ, г/см <sup>3</sup>	Фрикційний індекс <i>i</i>
Алюміній								
180	5	15,05	0,04	0,24	0,04	0,41	0,47	1,14
130	5	14,41	0,02	0,16	0,03	0,46	0,50	1,10
180	2,5	78,99	0,33	0,41	0,37	0,41	0,47	1,14
130	2,5	73,61	0,28	0,38	0,32	0,46	0,50	1,10
Залізо відновлене								
138	2,5	38,40	0,13	0,33	0,08	0,261	0,32	1,23
138	5	9,23	0,61	6,57	0,40	0,261	0,32	1,23
SiBa								
357,5	2,5	66,36	0,32	0,48	0,21	0,52	0,59	1,14
257	2,5	58,65	0,29	0,49	0,19	0,43		
815	5	19,41	0,98	5,05	0,64	0,43	0,48	1,12
515	5	12,76	0,07	0,57	0,05	0,47	0,52	1,11
357,5	5	10,87	0,04	0,35	0,02	0,52	0,59	1,14
257	5	10,69	0,09	0,81	0,06	0,43		
FeSi								
815	2,5	29,30	2,05	6,98	2,32	0,41	0,46	1,12
515	2,5	19,21	0,06	0,30	0,07	0,40	0,45	1,13
357,5	2,5	15,92	0,08	0,48	0,09			
257	2,5	13,87	0,12	0,84	0,13	0,41	0,47	1,16
180	2,5	12,81	0,07	0,55	0,08			
130	2,5	13,16	0,12	0,92	0,14			
81	2,5	19,29	0,63	3,26	0,71	0,39	0,60	1,52

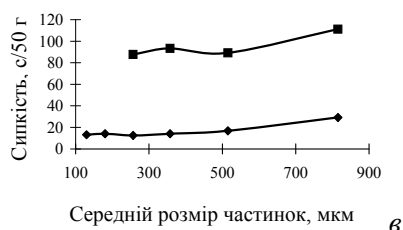
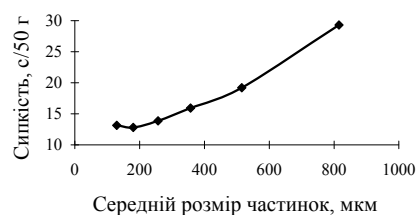
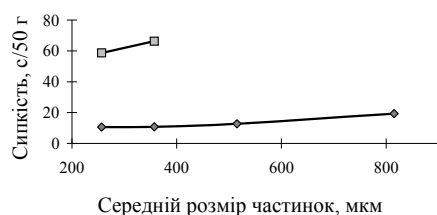


Рис. 2. Залежність сипкості від середнього розміру частинок для порошків SiBa (а), FeSi (б) та SiCa (в), випробуваних на лійках з отворами різних діаметрів (мм): ■ — 2,5; ◆ — 5.

**Т а б л и ц я 4. Коефіцієнти  $n$  та  $K$  з формули (2) для досліджених порошків**

Розмір частинок, мкм	Діаметр лійки, мм	Середній час $t$ , с	Коефіцієнт $n$	Коефіцієнт $K$
Алюміній				
180	5	15,05	2,39	14,14
130	5	14,41	2,35	12,71
180	2,5	78,99		
130	2,5	73,61		
Залізо відновлене				
138	2,5	38,40	2,06	5,06
138	5	9,23		
SiBa				
357,5	2,5	66,36	2,61	14,51
257	2,5	58,65	2,46	11,13
357,5	5	10,87		
257	5	10,69		

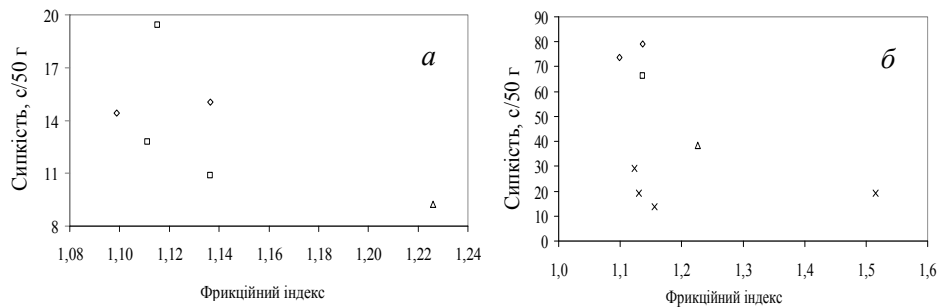


Рис. 3. Залежності сипкості від фрикційного індексу при використанні лійки з діаметрами отворів 5 (а) та 2,5 мм (б):  $\diamond$  — алюміній;  $\square$  — силікобарій;  $\Delta$  — залізо відновлене;  $\times$  — FeSi.

### Висновки

Для всіх досліджених порошків сипкість зменшується зі збільшенням розміру частинок (лійки з діаметрами отворів 2,5 та 5 мм).

Для досліджених порошків немає чіткої кореляції між фрикційним індексом та сипкістю, що ймовірно зумовлено різною густиною матеріалу частинок, а для порошків однакового хімічного складу — різним розміром їх частинок.

1. Куок Кхань Нгуен, Гогаєв К. О., Радченко О. К. Сипкість (текучість) порошку та її вимірювання. I. Огляд попередніх робіт // Наст. сб. — С. 89—100.
2. Leadbeater C., Northcott L., Hargreaves E. Some properties of engineering iron powders // Symp. Powder Met.: Spec. Rep. — 1947. — No. 38. — P. 15—34.
3. Самсонов Г. В., Виницкий И. М. Тугоплавкие соединения: (Справ.). — М.: Металлургия, 1976. — 560 с.
4. Гороновский И. Г., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф. Краткий справочник по химии. — К.: Наук. думка, 1987. — 890 с.