наноструктурних системах. – Київ: Академперіодика, 2001. – 180 с. 5. *Райченко А.И.* Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока – М.: Металлургия, 1987. – 128 с. 6. *Guicciardi S.* Composition dependence of mechanical and wear properties of electroconductive ceramics // Порошковая металлургия. – 1999. – №3-4. – С. 32-41. 7. *Anderson K. R., Groza J. R.,* Surface oxide debonding in field assisted powder sintering // Mater. Sci. Engin. – 1990. – №27. – PP. 278-282. 8. Особенности скользящего разряда на границе раздела диэлектриков с различной диэлектрической проницаемостью /*В. К. Башкин, Г. П. Кузьмин, И. М. Минаев, А. А. Рухадзе, И. Б. Тимофеев* // Прикладная физика. – 2005. – №6. – С. 54-59. 9. Sintering of Al_2O_3 and WC powders activated by electric field / *E. S. Gevorkyan, Yu. G. Gutsalenko, V. A. Chishkala, A. P. Khrishtal* // Proceedings of the 5-th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI 2005 4-7 Sept. 2005, Vrnjacka Banja, Serbia and Montenegro. – PP. 694-696. 10. *Brook R. J.,* Proc. Br. Ceram. Soc, 1982, vol. 32, pp. 7-24. 11. *Jhonson D.L.* Ultra –Rapid Sintering of Ceramics // Science of Sintering.New Direction for Materials Processing and Microstructural Control / Ed. by D.P. Uskokovic, Hayne Palmour III and R.M. Spriggs.– N.Y.: Pergamon Press, 1989. – PP. 497-506. 12. *Геворкян Э.С., Гуцаленко Ю.Г.* Некоторые закономерности горячего прессования нанопорошков монокарбида вольфрама // Вісн. Нац. техн. ун-ту "Харк. політехн. ін-т". Зб. наук. пр. Темат. вип.: Технології в машинобудуванні.– 2008. – №35. – С. 44-48.

Поступила в редколлегию 15.09.2010

УДК.621.742

В. Ю. СЕЛІВЬОРСТОВ, канд. техн. наук, доцент, НМетАУ, м. Дніпропетровськ,
О. О. ЛОЄВСЬКА, аспірант НМетАУ, м. Дніпропетровськ,
Ю. В. ДОЦЕНКО, канд. техн. наук, доцент, НМетАУ, м. Дніпропетровськ,
В. П. ДОЦЕНКО, канд. техн. наук, доцент, ОНПУ, м. Одеса

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ ДИСПЕРСНОСТІ ПРОКАТНОЇ ОКАЛИНИ НА МІЦНІСТНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАЛІЗОФОСФАТНОЇ ХТС

Представлені результати досліджень вибору раціонального способу отримання залізовмісної складової формувальних та стрижневих залізофосфатних ХТС різної дисперсності за допомогою кульових млинів, а також вплив дисперсності окалини на міцність сумішей даного типу.
Ключові слова: прокатна окалина, дослідження, дисперсність, залізофосфатна суміш, міцністні властивості.

Представлены результаты исследований выбора рационального способа получения прокатной окалины различной дисперсности в шаровых мельницах для формовочных и стержневых железофосфатных ХТС, а также влияние дисперсности окалины на прочность смеси данного вида.
Ключевые слова: прокатная окалина, исследования, дисперсность, железофосфатная смесь, прочностные свойства.

Вступ. У ливарному виробництві поширюється застосування залізофосфатних пов’язуючих композицій та на їх основі холоднотвердіючих формувальних та стрижневих сумішей (ХТС) і футерувальних мас.

В якості вихідних компонентів залізофосфатних ХТС можливе використання залізовмісних відходів ливарного та металургійного виробництва

(шлами, пил, окалину) непостійного хімічного і фазового складу, які забруднені домішками. Оскільки залізовмісного матеріалу в суміші 1–5%, великі розбіжності інгредієнтів призводять до нестабільності технологічних властивостей форм і стрижнів. Відповідно, застосування таких відходів для виробництва ХТС можливе лише за попередньої підготовки цих матеріалів.

Аналіз попередніх публікацій та постановка задачі.

Дослідження [1] показали, що матеріали для ХТС після обробки повинні містити: шкідливих домішок, що легко видаляються, < 0,1%; металевого заліза < 0,1%; закису заліза 10 – 30%; усього заліза 50 – 75% .

З усіх металофосфатних пов'язувальних композицій частіше за все застосовуються алюмофосфатні та залізофосфатні [2]. Для залізофосфатних композицій, за даними Є. С. Гамова, можуть застосовуватися різноманітні матеріали, що містять оксиди заліза (табл.1). В якості залізовмісного компоненту в цих ХТС запропоновані різноманітні матеріали (ковальська і прокатна окалина, залізорудні концентрати, і т. п.) та відходи багатьох виробництв.

Таблиця 1 - Матеріали, які використовуються для отримання залізофосфатних ХТС [3]

Матеріал	Вміст,%	
	FeO	Fe_2O_3
порошок магнітний чорний	<8	92-100
крокус	10-20	80-90
трифолін	10-25	75-90
залізорудний концентрат	24-28	57-68
залізооксидний шлам (віт ЕДП, вагранок)	10-25	75-90
пил після зачистки виливків	6-10	70-90
окалина залізна	6-10	47-76

Найбільше застосування отримали залізовмісні матеріали з максимальною кількістю оксидів заліза: порошок магнітний чорний, крокус, трифолін, залізорудний концентрат, а також залізооксидний шлам [3]. Такі відходи як плавильний пил, пил після зачистки виливків і інші, через нестабільну якість застосовуються менше. Однак, вторинні матеріали техногенного походження все частіше використовують як компонент формувальних та стрижневих сумішей [4 - 9].

Як відомо, за зниженням швидкості затвердіння за звичайних температур при взаємодії з H_3PO_4 оксиди заліза розміщуються наступним чином: магемит (найбільша), магнетит и вюстит FeO. Гематит не має властивості холодного твердіння при додаванні H_3PO_4. Сучасні теоретичні уявлення про формування структури холоднотвердіючих сумішей розробляються з урахуванням фізико-хімії міжфазової поверхні [10].

Процеси, що супроводжують твердіння металофосфатної ХТС, можна представити у вигляді міжчастинкових (утворення коагуляційної структури і кристалізаційно-конденсованих контактів), дифузійних явищ (транспортування рідини з розчиненими іонами через прошарок гідратних новоутворень) і міжфазової взаємодії (розчинення, кристалізація) [11].

Більшість вказаних вище явищ мають електричну природу (дисоціативна адсорбція і протонізація рідини поверхнею високодисперсних часточок, виникнення подвійного електричного шару – ПЕШ, виникнення дифузійного потенціалу та ін.). У міжчастинковій взаємодії поряд з молекулярними силами Ван-дер-Ваальса - Лондона основна роль належить електромагнітній взаємодії (сили взаємодії дисперсних магнітних часточок, електричні поверхневі сили тяжіння і відштовхування та ін.) електромагнітні взаємодії між частинками багато в чому визначають властивості дисперсних систем [12]. Отримання дисперсних систем в сучасних умовах виробництва можливе багатьма способами, але за для подрібнення металевої складової залізофосфатної ХТС найбільш доцільним як з точки зору отримання якісного продукту, так і з економічної точки зору підходить механічний спосіб (подрібнення в млинах).

Подрібнення в кульових млинах, що обертаються, може бути самостійним способом перетворення матеріалу в порошок або додатковою операцією при інших способах отримання порошків. У кульовому млині матеріал стирається між внутрішньою поверхнею барабана і зовнішньою - кульового сегменту, між кулями і дробиться ударами. Подрібнення в кульових вібраційних млинах забезпечує швидке і тонке подрібнення. Подрібнення у вихрових млинах застосовується для пластичних матеріалів. Воно відбувається за рахунок ударних і зусиль, що стирають, які виникають при зіткненні безпосередньо подрібнюваних частинок. Струменеві млини відрізняються тим, що енергоносієм в них є газ або перегріта пара, що поступає з сопел з надзвуковою швидкістю. Млини забезпечують тонке подрібнення частинок до розмірів 1-5 мкм. Але в даному випадку їх використання недоцільне, оскільки це може викликати додаткове окиснення металевої складової. Подрібнення в планетарних млинах забезпечує тонке подрібнення важко подрібнюваних матеріалів ефективніше, ніж в млинах інших типів. У гіроскопічних млинах барабан обертається одночасно навколо горизонтальної і вертикальної осей, рух куль здійснюється аналогічно. Наведені вище дані свідчать про те, що актуальною задачею є проведення досліджень, спрямованих на визначення оптимального способу подрібнення окалини різного походження за для отримання якісного залізовмісного компоненту і, відповідно, якісних формувальних та стрижневих ХТС.

Метою роботи є визначення впливу ступеня дисперсності прокатної окалини на міцністні властивості залізофосфатної суміші без урахування впливу інгібіторів твердіння.

Результати досліджень. Були проаналізовані проби окалини, що є вторинним матеріалом у прокатному виробництві (ВАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»), хімічний склад якої наведений в табл. 2.

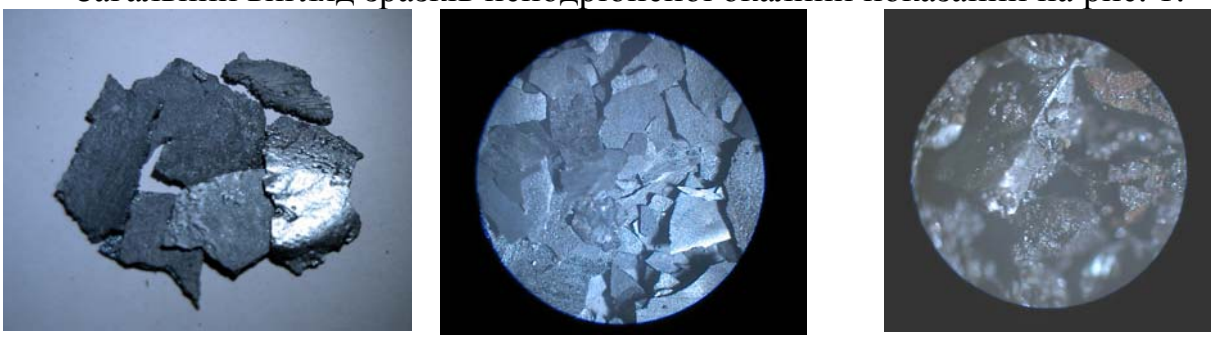
Таблиця 2 - Хімічний склад окалини

№ п/п	Місце відбору проби	Хімічний склад, %			
		$Fe_{загальне}$	Fe_2O_3	FeO	Fe_3O_4
1	Після нагрівальної печі	72,9	33,86	63,47	28,36
2	З дорнів	73,2	40,00	58,31	23,40
3	З кліті №5	73,4	39,00	58,47	28,82

Кожен із зразків окалини завантажувався в кульовий млин згідно з інструкцією і подрібнювався протягом 40 хвилин. Кожні 5 хвилин млин зупиняли і відбирали пробу масою 100 грамів, після чого визначався гранулометричний склад окалини в даному зразку.

При проведенні експерименту використовували кульовий лабораторний млин ЛМШ-2/30.

Загальний вигляд зразків неподрібненої окалини показаний на рис. 1.



а) б) в)

Рис.1. Загальний вигляд зразків неподрібненої окалини: а - після нагрівальної печі сортопрокатного цеху №1, х5; б - з чистової групи клітей дротового стану №1 сортопрокатного цеху №1, х24; в - з чорнової групи клітей сортопрокатного цеху №1, х24.

Визначення гранулометричного складу окалини.

Згідно з літературними джерелами загальноприйнятої класифікації за даними гранулометричного складу не існує [6]. Це пов’язано з різноманітністю цілей, задля яких визначають гранулометричний склад того чи іншого матеріалу.

Гранулометричний склад різноманітних матеріалів встановлюється стандартами і технічними умовами, які розробляються для кожного окремо взятого споживача даної сировини. Нормативний документ по визначенню гранулометричного складу окалини металургійних комбінатів на сьогодні невідомий.

Аналіз гранулометричного складу окалини після розмелення проводили згідно ГОСТ 2138-91 Формувальні кварцові піски; ГОСТ 8735-2000 Піски. Методи випробувань; ГОСТ 310.2-91 Цементи. Визначення тонкості помолу.

Розсіювання окалини виконували за допомогою ситового аналізатора СА-10 з наступними характеристиками:

- амплітуда коливань – 1,5 мм;
- частота коливань – 1500 Гц;
- кількість сит – 8 шт.

Для розсіювання використовувалися сита типу КСІ діаметром 200 мм і висотою 38 мм (ГОСТ 9758-86 і ГОСТ 8735-88) з розмірами комірок 0,16; 0,315; 0,63; 1,25; (2,5; 5; 10) мм і сито діаметром 200 мм висотою 38 мм (ТУ 36.6-2210200135-001-2003 і ТУ 36.6-2210200134-01-2003) з розмірами комірок 0,05; 0,063; 0,1; 0,2; 0,4 мм.

Набір сит з піддоном встановлювали на піддоні аналізатора. Проба подрібненої окалини масою 100 г засипалася у верхнє сито, закривалася кришкою, а комплект сит закріплювався на площадці аналізатора.

В результаті розсіву проба окалини розподілилася між ситами і піддоном у відповідності до її фракційного складу (табл. 3).

Після закінчення процесу розсіву окалина, яка залишилася на кожному із сит, зважувалася і визначався залишок на ситі.

Для високодисперсних проб окалини за допомогою приладу Товарова Т-3 і приладу ПСХ згідно з інструкцією і у відповідності до ГОСТ 310.2-91 визначали питому поверхню.

Таблиця 3 - Гранулометричний склад окалини

№ проби	Розмір сита, мм								
	2,5	1,25	0,9	0,63	0,315	0,16	0,08	0,071	дно
Зразок № 1									
1	2,5	4,1	7,7	17,5	49,5	12,3	4,2	1,1	0,6
2	1,1	3,3	6,1	15,2	47,5	17,1	7,6	1,4	0,4
3	0	2,7	5,6	13,1	44,9	22,5	8,9	1,5	0,6
4	0	1,1	5,3	14,4	37,7	27,4	11,2	1,7	0,7
5	0	0	3,4	14,1	33,1	29,1	7,1	2,1	0,8
6	0	0	2,1	12,3	26,9	36,4	18,5	2,3	1,1
Зразок № 2									
7	4,7	6,7	8,5	18,4	38,9	16,6	4,5	1,2	0,1
8	2,3	3,7	5,9	15,4	41,8	20,3	7,8	1,3	0,7
9	1,1	2,1	5,1	14,8	38,8	23,8	11,7	1,7	0,5
10	0	1,1	4,6	15,8	35,8	25,6	13,7	1,9	0,9
11	0	0	2	16,1	37,1	26,8	15	2	0,7
12	0	0	1,5	12,9	30,7	30,2	20,1	2,7	1,1
Зразок № 3									
13	0	0	10,1	25,4	35	21,2	5,8	1,4	0,7
14	0	0	8,4	20,6	31,7	28,7	7,4	1,7	0,8
15	0	0	4,9	15,1	25,7	38,7	12,5	1,8	0,9
16	0	0	1,7	10,3	20,4	47,5	16,5	2,1	1,1
17	0	0	0	4,9	15,7	55,2	19,7	2,5	1,3
18	0	0	0	2,1	10,8	60,8	21,3	2,8	1,5

Як видно з отриманих результатів, дисперсність окалини в 2300-2500 $м^2/г$ досягається вже через 20 хвилин подрібнення в кульових млинах, що підтверджує доцільність їх використання для подрібнення металевої складової залізофосфатних ХТС. Отримані в ході експерименту результати представлені на рис. 2 – 4.

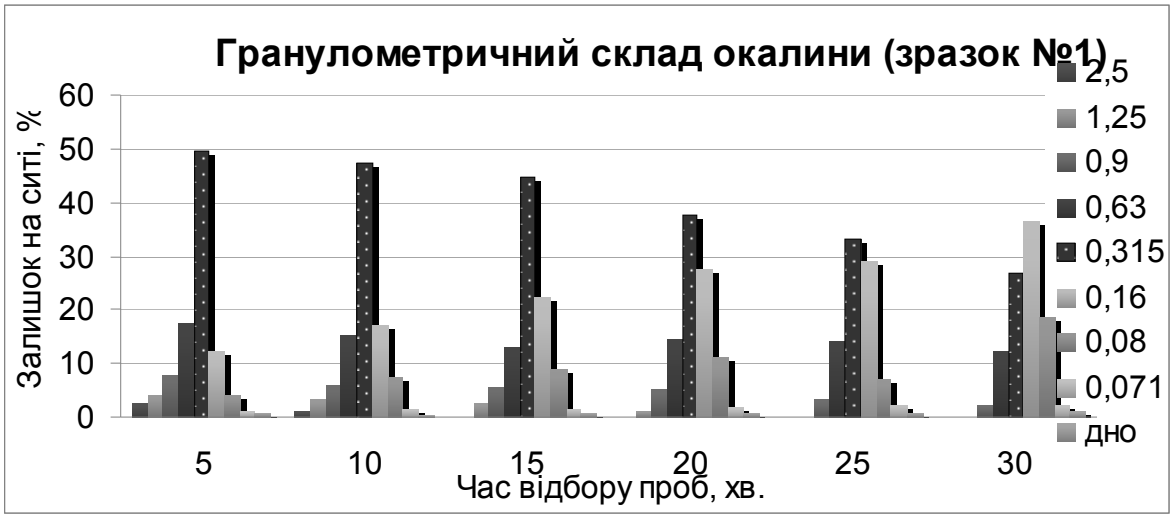


Рис. 2. Гранулометричний склад окалини першого зразка в результаті подрібнення в кульовому млині протягом 30 хвилин

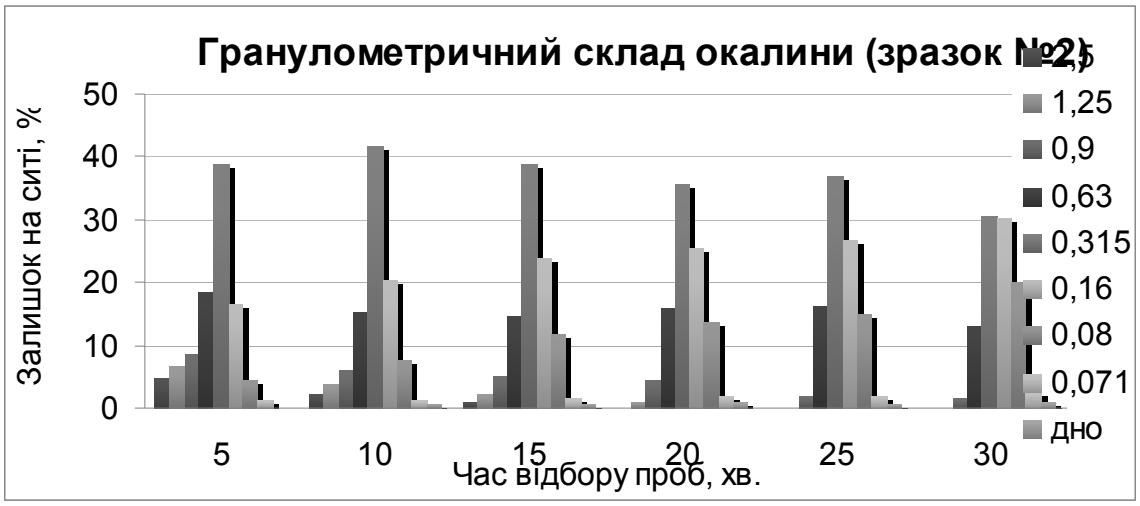


Рис. 3. Гранулометричний склад окалини другого зразка в результаті подрібнення в кульовому млині протягом 30 хвилин

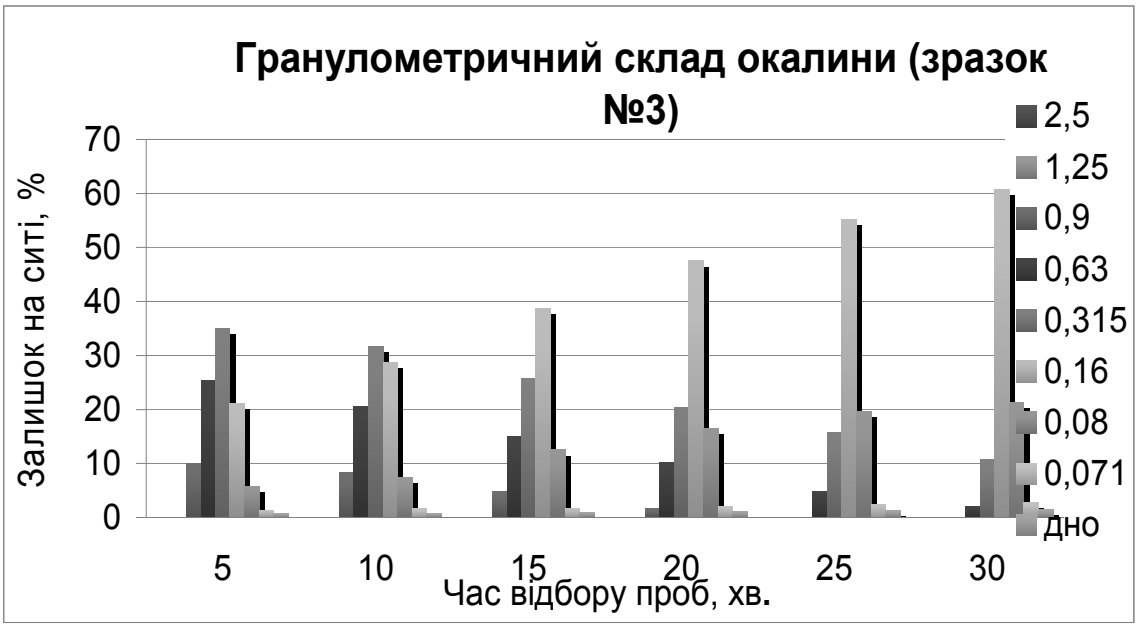


Рис. 4. Гранулометричний склад окалини третього зразка в результаті подрібнення в кульовому млині протягом 30 хвилин

Визначення впливу дисперсності окалини на міцність залізофосфатної суміші.

Були проведені дослідження впливу дисперсності окалини на міцність залізофосфатної суміші. Для цього були виготовлені зразки різного складу, де в якості залізовмісного матеріалу використовувалася окалина з дорнів, розмелена за допомогою кульового лабораторного млина ЛМШ-2/30 до різного ступеня дисперсності.

Результати досліджень наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 - Залежність міцності зразків різного складу від дисперсності використаної окалини

№ зразка	Міцність на стиснення, МПа, через					
	30 хв.	1 год.	4 год.	12 год.	24 год.	48 год.
1	0,37	1,39	1,7	2,75	3,48	3,75
2	0,8	1,75	2,31	3,1	3,65	4,23
3	1,18	2,0	2,55	3,42	3,96	4,8
4	1,31	2,25	2,7	3,46	4,1	5,1
5	1,5	2,5	3,0	3,71	4,2	5,25
6	1,65	2,4	2,9	3,7	4,25	5,4

Отримані в ході експерименту результати графічно зображені на рис. 5.

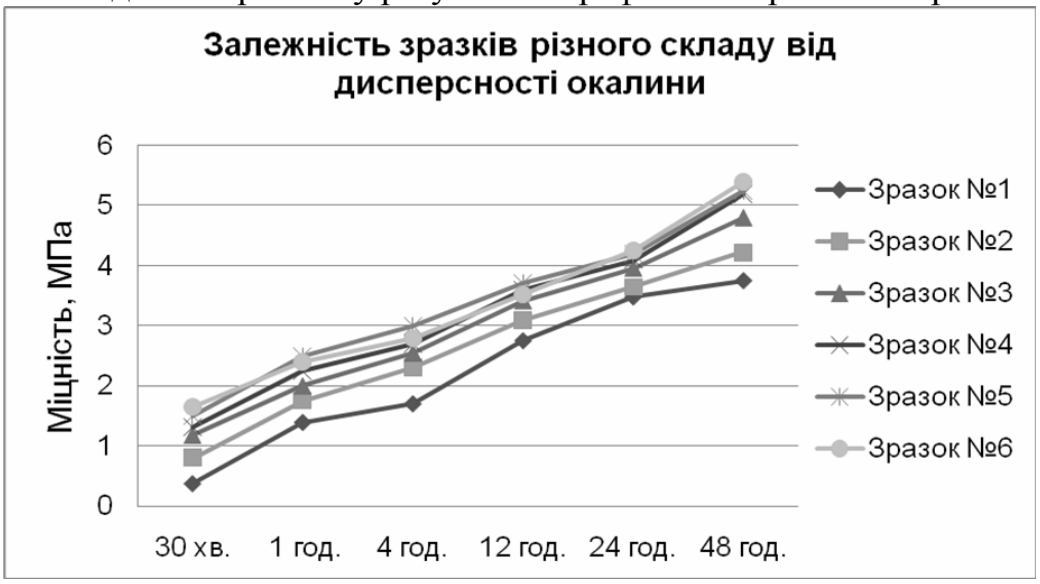


Рис. 5. Залежність міцності зразків різного складу від дисперсності використаної окалини

Як видно з рисунків 2 - 5, достатньо висока міцність зразків досягається при використанні окалини, подрібненої до питомої поверхні в 2300-2500 $м^2/г$, що досягається подрібненням її в кульовому млині протягом 20 хвилин.

Висновки:

1. Для отримання високодисперсної залізовмісної складової залізофосфатної ХТС в сучасних умовах найбільш доцільним є механічний спосіб –

тобто подрібнення в кульових млинах, оскільки він є сухим і найбільш економічно вигідним.

2. Визначений гранулометричний склад окалини після подрібнення її в кульовому млині. Питома поверхня окалини ~ 2300 $м^2/г$ досягається вже через 20 хвилин подрібнення в кульових млинах, що підтверджує доцільність їх використання для подрібнення металевої складової залізофосфатних ХТС. При подрібненні впродовж 30 хвилин більшість маси навіски окалини зосереджується на ситі 0,071 та в піддоні.

3. Найбільш висока міцність при стисканні зразків ХТС досягається при використанні окалини, подрібненої до питомої поверхні 2300-2500 $м^2/г$ від 20 – 30 хвилин в залежності від походження.

Список літератури: 1. Минченков, А.В. Ресурсоэнергосберегающие металлофосфатные связующие материалы [Текст] / А.В. Минченков, А.А. Мороз // Литейное производство, 1995. - №4. – 39-40 с. 2. Гамов, Е.С. Высокоогнеупорные холоднотвердеющие связующие смеси [Текст] / Е.С. Гамов, В.В. Серебряков, Н.М. Малык // Литейное производств, 1981. -№12. –18-20 с. 3. Дорошенко, С.П. Формовочные материалы и смеси [Текст] / С.П. Дорошенко, В.П. Авдокушин, К.Н. Русин - К.: Выща шк., 1990.- 415с. 4. Хричиков, В.Є. Исследование технологических свойств фосфатных холодно-твердеющих смесей с добавками пыли аспирационной установки дробления боксита и агломерационной пыли мультициклона [Текст] / В.Є. Хричиков, І.О. Осипенко, О.М. Овчарук, В.Ю. Селиверстов, О.Л. Кисельгоф // Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск, 2001, № 5, с. 37-39. 5. Хрычиков, В.Е. Формовочные смеси для прибылей массивных отливок [Текст] / В.Е. Хрычиков, В.Ю.Селиверстов, В.Ф. Мазорчук, Ю.В. Доценко // Теория и практика металлургии. – 2004. - №6. - С.77-81. 6. Селівьорстов, В.Ю. Використання золовідходів Придніпровської ТЕС в якості компоненту складів-аналогів гіпсових формувальних сумішей [Текст] / В.Ю. Селівьорстов, Ю.В. Доценко, А.А. Топучканова // Теорія і практика металургії. – 2004. - №5. - С.11-13. 7. Хрычиков, В.Е. Формовочные смеси из вторичных материалов для прибылей отливок [Текст] / В.Е. Хрычиков, В.Ю. Селиверстов, В.Ф. Мазорчук, Ю.В. Доценко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. - №4. - С. 34-36. 8. Хрычиков, В.Е. Использование вторичных материалов в новых составах железофосфатных холоднотвердеющих смесей [Текст] / В.Е. Хрычиков, В.Ю. Селиверстов, Р.В. Усенко, В.Ф. Мазорчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2006. – № 3. -С. 40-42. 9. Хрычиков, В.Е., Селиверстов В.Ю., Мазорчук В.Ф., Доценко Ю.В., Усенко Р.В. Исследование основных технологических свойств железофосфатных холоднотвердеющих смесей при использовании в качестве компонента золы-уноса Приднепровской ТЭС [Текст] / В.Е. Хрычиков, В.Ю. Селиверстов, В.Ф. Мазорчук, Ю.В. Доценко, Р.В. Усенко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. - №6. - С. 27 – 28. 10. Жуковский, С.С. Формы и стержни из холоднотведеющих смесей [Текст] / С.С. Жуковский, А.М. Лясс – М.: Машгиз, 1978. –224 с. 11. Матвиенко, В.А. Электрические явления и активационные взаимодействия в технологии бетона [Текст] / В.А. Матвиенко, Толчин С.М.– Макеевка: РИС; 1998. – 154 с. 12. Бибик, Е.Е. Реология дисперсных систем [Текст] / Е.Е. Бибик – Л.: ЛГУ, 1981. – 146 с.