

УКРАЇНСЬКІ СИЛІКАТИ

VI РІК ВИДАННЯ

УКРАИНСКИЕ СИЛИКАТЫ
UKRAINISCHE SILIKATE

VI JAHRGANG

Орган Українського Н.-Д. Інституту Силікатної Промисловості, Українського Наукового Технічного Товариства, Науково-Технічної Ради Силікатної Промисловості, Укрсоюзцементу, Укрвогнетриву, Укрбудматеріалу та Укрсколопорцеляну

РЕДАКЦІЯ: УСРР, Харків, Палац Праці, III під'їзд, кв. 59. Телеф. 77-18

Mitteilungen des Ukrainischen Instituts für Silikatforschung, der Ukrainischen Wissenschaftlichen Technischen Gesellschaft, des Technisch Wissenschaftlichen Rates für Silikatindustrien, des Ukrsojuszement, Ukwognetryw, Ukrbudmaterial und Ukrskolorporzellan

SCHRIFTLEITUNG: U. d. S. S. R., Ukraine, Charkiw, Arbeits-Palast, III Aufgang, W. 59

№ 9

ВЕРЕСЕНЬ

1932

SEPTEMBER

№ 9

Фізико-хімічне дослідження глин із п'ятихатківського й роздорівського родовищ

(Український науково-дослідний інститут будівельних матеріалів, Харків)

Проф. О. В. Терещенко та інж. Е. В. Іванов

Вогнетривких глин п'ятихатківського і роздорівського родовищ досі ще вживають у вогнетривкій промисловості дуже мало. Одна з причин тому — надто велика температура спікання цих глин.

На меті в цій роботі було дослідити зразки вогнетривких глин з п'ятихатківського й роздорівського родовищ, що їх нам надіслала Шведенсталь. Місця, де відбирали проби, точно не були позначені. Тепер цими глинами починають дуже цікавитися вогнетривкі цехи при металургії, щоб виробляти з них шамотовий вогнетривкий припас. Щоб виявити глибину й характер покладів глини у цих родовищах, Укргеолком провадить тепер низку робіт розвідкового характеру.

Характеристика глин

П'ятихатківська глина в сухому стані має чисто білу барву. Структура її однорідна без залучень. Як замішати ту глину з водою, маса набуває сирового відтінку, який після випалу переходить на злегка жовтавий. Роздорівська глина має чисто білу барву так у сировому, так і в випаленому стані. Вона містить досить багато залучень вапняку у формі грудочок розміром часом з грецький горіх. Відділяти ці залучення буває досить тяжко.

Хімічний склад глини

В таблиці I наведено наслідки сумарної хімічної аналізи цих глин, а щоб порівняти подано також аналіз глини з Часового Яру із верстви № 6.

На основі даних хімічної аналізи можна зробити висновок, що п'ятихатківські й роздорівські глини багаті на глинки і своїм хімічним складом наближаються до каолінів.

У таблиці II наведено наслідки раціональної аналізи, що її проведено за методом Калаявнера і Матейки (Kallauer & Matejka). Тут також для порівняння подано наслідки раціональної аналізи глини з Часового Яру із верстви № 6.

На основі даних раціональної аналізи ці глини можна залучити до груп глин найвищої глинястості, що наближаються до каолінів.

Термічна аналіза глини

Криві нагрівання. Щоб здобути криві нагрівання, ми формували з тіста нормальної крутості невеличкі циліндри розміром 70 × 25 мм і добре просувували їх у сушильній шахві. В центрі основи у такому циліндрику ми просверлювали до його середини дірки діаметром щось із 2,5 мм. Перш, ніж випробувати, підганяли циліндрики до однієї ваги,

притираючи їх шмергелевим папером. Виготовлений у такий спосіб циліндрик вищувано на спеціальній підставці у трубчасту позему піч Гереуса з платиновим обвитком так, щоб вісь нагрівної трубки збігалася з віссю зразка. У дірку в циліндрику вставляли термопару Pt—Pt-Rh, що її кінці прилучали до мідяних затискачів, а ці затискачі вставляли у пробівки, занурені у воду; температуру води під час спроби вимірювали термометром.

Піч нагрівали так, що температура в ній доходила 1100°C за 2,5 години після початку спроби і при тому збільшувалася дуже рівномірно під час усієї спроби. Температуру самої печі вимірювали також термопарою, встановленою з другого кінця печі і точно центрованою. Покази обох термопар наперед перевірено в однакових умовах.

Криві нагрівання вирисовували на основі температурних показів, що їх прочитували що 5 хвилин; здобуті криві показано на діаграмі рис. 1, де на осі

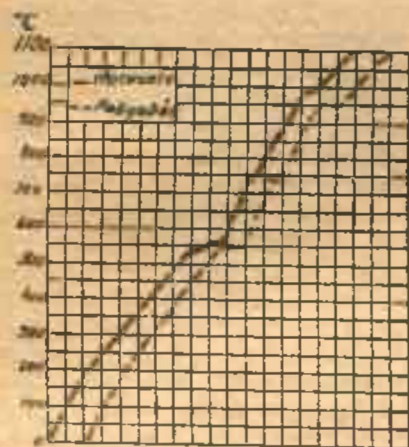


Рис. 1

ординат відкладено температури в градусах Цельсія, а на осі абсцис— час у хвилинах.

Розглядаючи криві нагрівання для обох глин, насамперед доводиться констатувати те, що ці криві дуже подібні одна до однієї. При нагріванні до 1100°C в обох глинах виявлено два перетворення— ендотермічне і екзотермічне. Ендотермічне перетворення зв'язане з вилучен-

ням конституційної води в температурному інтервалі $500 - 750^{\circ}\text{C}$; екзотермічне перетворення відбувається при температурі близько 950°C .

Екзотермічне перетворення характерне для глин, багатих на каолінит, а що це перетворення на кривих виявляється достатньою мірою різко, то маємо право залічити ці глини до числа каоліністих; це potwierджують і дані раціональної аналізи. Порівнюючи обидві криві, можна вже наперед сказати, що роздорівська глина багатша на каолінит, ніж п'ятихатківська, бо в останній екзотермічний процес виявляється не так різко. Отже метода термічної аналізи дає цінні вказівки, щоб робити висновок про природу глини.

Криві зневоднювання. Щоб дати точнішу характеристику про перетворення зв'язані з дегідратацією (зневодненням) глин через нагрівання, самих лише кривих нагрівання не досить. Точніше схарактеризувати цей процес можна, користаючись методом кривих зневоднювання.

В тій цілі з пластичної маси нормальної крутості формувалося невеличкі циліндрики розміром 40×40 мм. Висушували в сушильній шахві, їх підганяли до однієї ваги, пригріваючи шмергелевим папером. Підготовлені в такий спосіб зразки ми клали в порцелянові бритвалі і нагрівали в муфлевій печі з платиновим обвитком до різних температур. Нагріваючи піч, додержувалися такого режиму, щоб температура більшала на 100°C за 45 хвилин.

Дійшовши потрібної температури, ми виймали з печі ряд бритвалів із зразками і ставили їх в ексікатор. Решта бритвалів залишалися в печі і їх витримували там при певній температурі протягом однієї години. Давши бритвалям прохолоннути, їх зважували і з різности ваги до і після спроби визначали втрату на вазі (втрату води) в грамах.

Наслідки спроб щодо зневоднювання п'ятихатківських і роздорівських глин наведено в таблиці III.

Процес зневоднювання досліджених глин графічно показано на діаграмах рис. 2 і 3, де на осі ординат відкладено температури, а на осі абсцис— втрати води у відсотках од ваги сухого зразка.

Розглядаючи криві дегідратації, бачимо, що при збільшенні температури до 400° С вода вив'язується поступово, а після того заходить момент швидкого вилучення більшої частини води в інтервалі

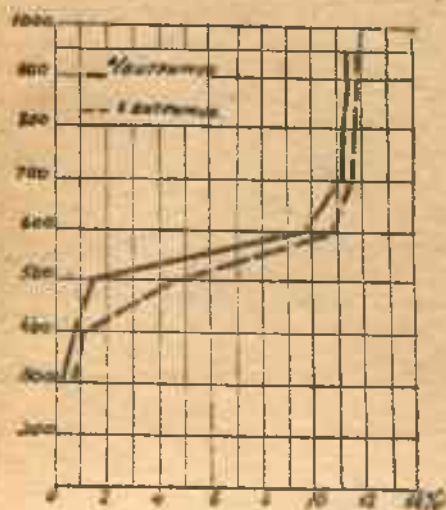


Рис. 2

од 400 до 600° С. Решта води вив'язується далі поступово при дальшому збільшенні температури. Отже, процес ана-



Рис. 3

воднення при 400°С зазнає в своєму повільному розвитку певний розрив; це можна пояснити тим, що при 400°С модифікація α -форми алюмо-силікатної кислоти, що містить більше води,

перетворюється на β -форму, що містить мало води.

П'ятихатківська глина дуже удержує в собі хемічно зв'язану воду, ніж роздорівська, і в інтервалі від 400 до 600°С її треба нагрівати поступовніше, щоб уникнути утворення щілин.

Механічна аналіза

Щоб визначати гранулометричний склад досліджуваних глин, їх змулювали в приладі Шене. Наслідки цих сироб наведено в таблиці IV, а графічно показано їх на діаграмі рис. 4, де на

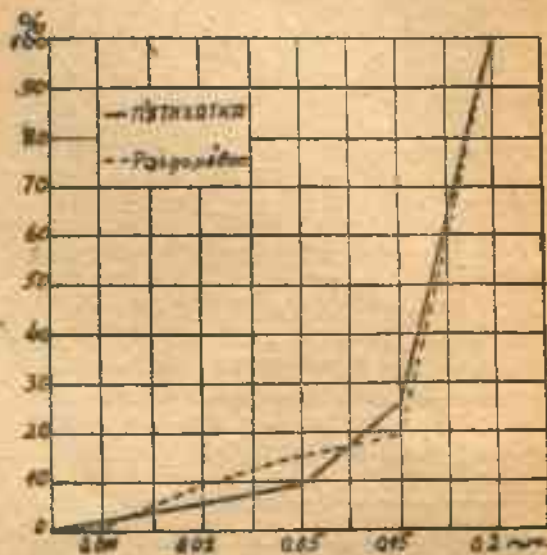


Рис. 4

осі абсцис відкладено величини зерен у міліметрах, а на осі ординат — відсотковий вміст зерен однакового розміру.

На основі даних механічної аналізи можна залічити досліджені глини до типу глин із середньою дрібністю зерна¹, оскільки вони містять до 80% зерен діаметром менш як 0,011 мм.

Керамічне випробування

Керамічне випробування досліджуваних глин провадили, розмелюючи їх у кульовому млині та просіюючи крізь сито із 900 отв./см², припускаючи решток на ситі до 10%.

¹ Див. Неколю.—Труди ГИКИ, випуск 20.

Кількість води, потрібної, щоб замінити тісто нормальної крутості.

Щоб здобути тісто нормальної крутості, п'ятихатківську глину треба замінити із 40% води (од ваги сухої глини), а роздорівську — із 35,2%.

З тіста нормальної крутості формували ми цеглинки розміром $120 \times 60 \times 30$ мм, що їх відтак висушували,

спікаються і дають при тому значний зступ — до 18%. Достатньої спіклості можна дійти, випалюючи до температури понад 1400°C .



Рис. 5

поступовно збільшуючи температуру, і випалювали в муфлевій силітовій печі при різних температурах, витримуючи там до двох годин. Ми зупинилися на сталому режимі випалу, а саме, темпе-

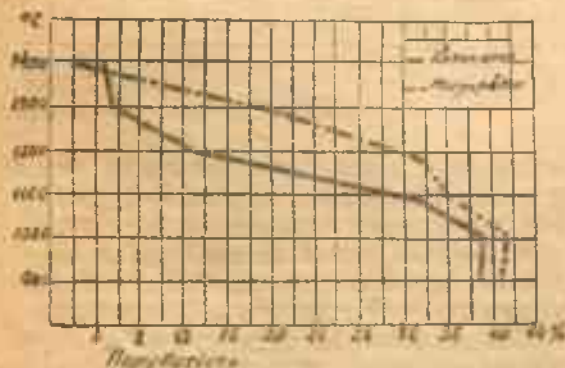


Рис. 6

ратура більша за 1000°C за кожні 45 хвилин. У випаленій цеглі визначили зступ, поруватість, водозбірність і об'єм вагу.

Результати цього випробування наведено в таблиці V і графічно показано на діаграмах рис. 5, 6, 7 і 8.

З даних керамічного випробування видно, що ці глини вогнетривкі, тяжко



Рис. 7

вогнетривкі визначали ми в електричній криптоловій печі фірми „Тоніндустрі“.

Температура топлення для п'ятихатківської глини — 1720°C , для роздорівської — 1735°C і для глини з Часового Яру „РВ“ — 1690°C .

П'ятихатківська глина залишається

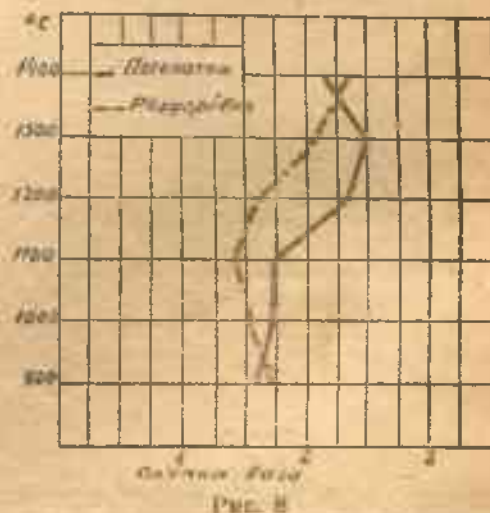


Рис. 8

дуже порувата до температури 1100°C і лише після того, як нагріти її до більшій температури, вона починає давати

спіклий черепок. Роздорівська глина лишається порувата до температури 1300°C . Зетуп у неї зростає спочатку дуже повільно, а вже від температури $1100—1200^{\circ}$ одразу швидко більшає.

Розрідження глини. Щоб виявити, чи можна вживати п'ятихатківських і роздорівських глини на виготовлення вогнетривких виробів методом відливання, а також, щоб дати цим глинам відповідну характеристику, проведено спробне розріджування цих глини, так у сировому стані, так і після нагрівання їх у межах температур од 100 до 600°C . Для цього випробування глини мелено й пересіювано на сито 900 отв./см² та підсушувалося протягом однієї години. Режиму нагрівання додержувалося того самого, себто температуру збільшували на 100°C по 45 хвилин.

Із підготовлених у такий спосіб глини ми брали певної ваги підсіпки і збовтували їх із водою у мішалці протягом однієї години, щоб виготовити достатньою мірою однорідну масу.

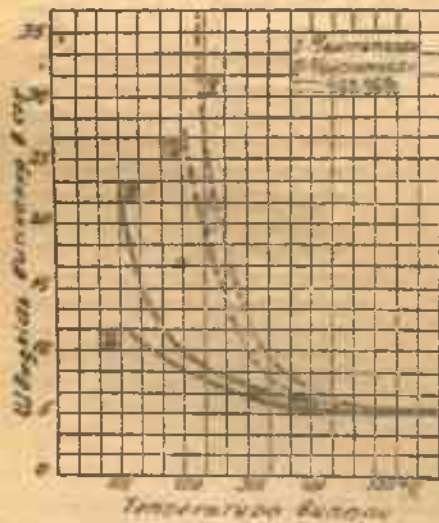


Рис. 10

Ступінь розріджування визначали ми, порівнюючи швидкість витікання 100 см^3 глиняної суспензії. Щоб визначити швидкість витікання, ми користувалися із звичайної піпетки, місткої на 150 см^3 , укріпленої на штативі, з випускним отвором 5 мм в діаметрі. У цю піпетку засмоктували 150 см^3 глиняної суспензії, а відтак спускали її у вимірчу

колбу, містку на 100 см^3 . Час, протягом якого колба наповнювалася до позначки, виміряли секундоміром. Співвідношення між вмістами води й глини в масі суспензії було звичайно таке: 1) 40% глини + 60% води; 2) 45% глини + 55% води.

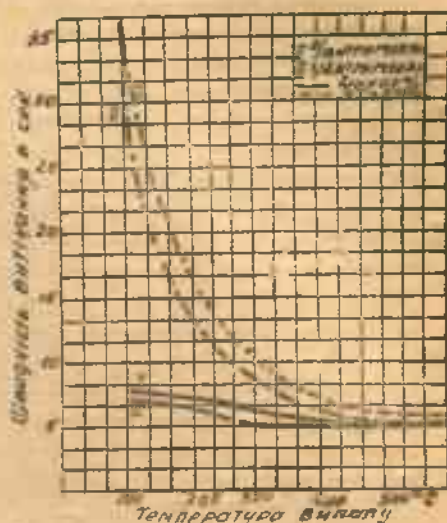


Рис. 9

Наслідки спостереження наведено в таблиці VI і графічно показано на діаграмах рис. 9 і 10, де на осі ординат відкладено швидкості витікання за секунду, а на осі абсцис — температуру попереднього нагріву глини.

Порівнюючи спробні дані, можна бачити, що п'ятихатківська глина легше піддається розрідженню, і що, нагріваючи ці глини до $300—400^{\circ}\text{C}$, можна значною мірою зменшити кількість води, потрібної для розрідження їх.

Далі, маючи на меті виявити, чи можна вживати спісненої глини, щоб формувати вироби звичайним пластичним способом, проведено спробне визначення кількості води, потрібної, щоб виготовити нормальне тісто із спіснених глини, нагріваючи їх до тієї чи тієї температури. В цій спробі певну відсіпку спіснених глини замочували водою до нормальної крутості і тоді визначали в ній відсотковий вміст вологи, а це робили, висушуючи глину в сушильній шахві, при температурі $110—115^{\circ}\text{C}$. Наслідки цього дослідження наведено в табли-

ці VII і графічно показано на діаграмах рис. 11 і 12.

Кількість води, потрібної на виготовлення тіста нормальної крутості із спіснених глин, зростає поруч із збільшенням температури попереднього нагрівання глини. На основі цього можна

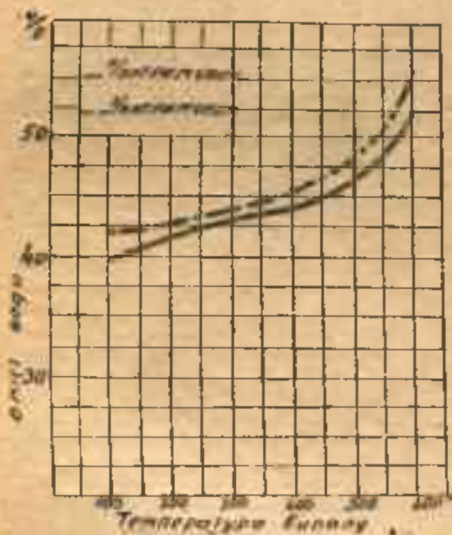


Рис. 11.

зробити такий висновок: щоб уживати спіснених глин для пластичного способу формування, доведеться збільшувати вміст вологи у робочій масі.

Виготовлення й дослідження спробних мас

Щоб виявити, чи можна вживати п'ятихатківських і роздорівських глин на виробництво вогнетривкого припасу, проведено спробний добір відповідної шихти, складаючи і при тому вивчаючи різні спробні маси.

Маси складалося із глин п'ятихатківської, роздорівської і часів'ярської, а також із різних сумішей їх. Кількість і характер шамоту показано в дальших таблицях. Сталі чинники для даних мас були такі: 1) співвідношення між глиною і шамотом; 2) гранульометричний склад шамоту і 3) температура випалу виготовлених із цієї маси зразків.

У зразків визначали: 1) усушку, 2) аступ, 3) водовбірність, 4) поруватість, 5) об'ємну вагу, 6) вогнетривкість і 7) термічну витривалість.

Виготовлення шамоту й подрібнення його. На шамот п'яти-

хатківські й роздорівські глини випалювано при температурі 1450° С. Виготовлені з цих глин брикети випалювали ми у спробному горні на Слов'янській порцеляновій виробні.

Випалений шамот подрібнювано в порцеляновій ступці і розсіювано на такі фракції:

Фракції	Розмір зерен мм
1	2,0 — 1,5
2	1,5 — 1,0
3	1,0 — 0,5
4	0,5 — 0,2
5	0,2 — 0,0

Здобуті фракції шамоту відтак змішували в пропорціях, показаних у таблиці VIII. Цю таблицю складено на основі наслідків наших попередніх робіт, щодо вогнетривких шамотових виробів¹.

Складання мас і формування. На дослідження брато різні маси, що склад їх наведено в таблиці IX.



Рис. 12.

Маси готувалося в такий спосіб: відважену кількість повітряно сухої подрібненої глини змішували насуху з потрібною кількістю шамоту вказаного гранульометричного складу; відтак додавали воду з лійки з дуже дрібненькими оторами в наконечнику і знов перемішували. Вологість маси коливалась од 16 до 18%. Добре перероблений масі давали вилежатися протягом кількох

¹ Див. О. В. Терещенко та Е. В. Іванов — „Укр. Силікати“, № 3—4, 1931 р.

діб під вологими мішками, а тоді її брали на формування. Формували цеглинки розміром $120 \times 60 \times 30$ мм, що їх відтак висушували, поступивно збільшуючи температуру, і, нарешті, пускали на випал.

Випал і випробування Зразки випалювали у спробному горні на Слов'янській порцеляновій виробі при температурі $1400-1420^\circ\text{C}$. Випалені зразки випробували; наслідки випробування наведено в таблиці X.

Порівнюючи наслідки випробування, бачимо, що, змішуючи п'ятихатківські й роздорівські глини з часів'ярською глиною РВ, можна здобути доброякісний шамотовий черепок. Маса, складена з шамоту і глини з п'ятихатківського чи роздорівського родовищ, потребує випалу до більшої температури і відзначається після такого випалу збільшеною поруватістю.

Маси, в яких за зв'язку речовину з суміші п'ятихатківської й роздорівської глини з часів'ярською РВ, після випалу при них зразків при 1400°C давали черепок не такий поруватий і з більшою об'ємною вагою. Маса, складена із шамоту п'ятихатківських чи роздорівських глини та сирової часів'ярської глини РВ, також виявляють нормальну поруватість.

Вогнетривкість. Вогнетривкість мас визначали звичайним способом в електричній кристаловій печі фірми „Тоніндустрі“, вживаючи при тому Зерихових конусів. Наслідки цього випробування подано в таблиці XI.

З цієї таблиці бачимо, що, як додавати до п'ятихатківської чи до роздорівської глини певну кількість глини часів'ярської РВ, то вогнетривкість зразків меншає.

Термічна витривалість. Щоб визначити термічну витривалість, зразки розміром $120 \times 60 \times 30$ мм нагрівали в електричній муфлевій печі до 900°C , а тоді швидко занурювано на три хвилини в холодну проточну воду. Далі їх вдруге нагрівали протягом 10 хвилин до 900°C і знов швидко занурювали в проточну воду. Операцію цю повторювали десять разів. Термічну витривалість маси характеризує зовнішній вигляд зразків до випробування і після десятих разів повторюваного нагрівання й охо-

лоджування. Випробування на термічну витривалість всі зразки витримали — жадних щілин і втрати на вазі не виявлено.

Висновки

1. Досліджені п'ятихатківські й роздорівські глини можна залічити до сушарних каолінітових глини.
2. Виробляти вогнетривкі матеріали із п'ятихатківських і роздорівських глини можна, якщо вживати їх у суміші з глиною часів'ярською РВ.
3. Випалювати п'ятихатківські й роздорівські глини на шамот треба при температурі $1450-1470^\circ\text{C}$.
4. Сміслюючи п'ятихатківські й роздорівські глини, їх можна вживати на виготовлення вогнетривких виробів способом відливання.
5. Здобути наслідки дослідження бажано перевірити у виробничому обсязі.

Табл. I

Хімічний склад (у відсотках)

Назва глини	П'ятихатківська	Роздорівська	Часів'ярська
Складники			
SiO_2	46,80	50,92	53,91
Al_2O_3	37,32	34,50	32,00
Fe_2O_3	1,10	0,60	1,18
CaO	0,64	0,80	0,80
MgO	0,13	0,19	0,56
Втрати від прожарюв.	13,62	12,50	8,99
	99,61	99,51	97,38

Табл. II

Дані раціональної аналізи (у відсотках)

Назва глини	П'ятихатківська	Роздорівська	Часів'ярська
Складники			
Каолініт	73,98	81,51	62,73
Каолініт, що містить Fe_2O_3 замість Al_2O_3	1,56	1,16	2,35

Табл. III

Температура нагрівання в градусах Цельсія	Втрати води у відсотках од ваги зразка після нагрівання			
	П'ятихатківська глина		Роздорівська глина	
	Не витримуючи при певній температурі	Витримуючи при певній температурі 1 год.	Не витримуючи при певній температурі	Витримуючи при певній температурі 1 год.
300	0,47	0,58	0,33	0,4
400	0,82	0,88	0,62	0,72
500	1,55	4,60	2,4	5,55
600	9,97	10,37	10,5	10,63
700	11,34	11,52	10,86	11,06
800	11,66	11,68	11,18	11,19
900	11,74	11,76	11,24	11,27
950	11,80	11,82	11,30	11,32

Табл. IV

Механічна аналіза

Величина зерна в мм	Вміст фракцій у відсотках	
	П'ятихатківська глина	Роздорівська глина
Менше як 0,011	74,10	80,95
0,12 — 0,011	17,8	4,1
0,05 — 0,02	3,8	6,75
0,15 — 0,05	3,05	7,1
0,2 — 0,15	1,25	1,1

Табл. V

Керамічне випробування

Глина	Температура випалу (градуси Цельсія)	Зступ %	Поруватість %	Водовібірність %	Об'ємна вага	Барва
П'ятихатківська	100	5,0 — 6,43	—	—	—	біла
	900	7,5	38,98	24,71	1,58	рожево-кремова
	1000	9,79	38,75	23,11	1,70	біла
	1100	10,03	32,1	21,46	1,73	біла
	1200	15,35	12,85	7,23	2,30	біла
	1300	18,51	5,62	2,31	2,41	сіра
	1400	19,08	5,27	2,48	2,16	сіра
Роздорівська	100	5,0 — 4,29	—	—	—	біла
	900	5,5	40,08	27,15	1,61	кремова
	1000	5,43	40,51	26,60	1,5	крем.-рож.
	1100	5,78	35,72	23,50	1,54	"
	1200	10,25	33,20	19,18	1,71	"
	1300	13,05	20,63	9,91	2,10	"
	1400	13,66	2,66	1,14	2,37	"

Табл. VI

Швидкість витікання (в секунд.) нагрітої глини

Глина	Температура нагріву в градусах Цельсія	4% глини + 60% води		45% глини + 55% води	
		Не витримуючи при певній температурі	Витримуючи при певній температурі	Не витримуючи при певній температурі	Витримуючи при певній температурі
П'ятихатківська	100	5,3	5,2	25,4	31,6
	200	5	5	12	9,8
	300	4,6	4,2	8,8	6,4
	400	4	4	4,8	4,3
	500	4	4	4,2	4
	600	4	4	4	4

Роздорівська	100	18,3	9,2	кращими	137,4
	200	6,8	6,6	28,2	23,0
	300	5,6	5,2	9,6	7,6
	400	4,5	3,8	5	4,2
	500	3,8	3,8	4	4
	600	3,8	3,8	4	4

Табл. VII

Кількість води (у відсотках), потрібної, щоб замішати нормальне тісто

Температура нагріву в градусах Цельсія	П'ятихатківська глина нагріта		Роздорівська глина нагріта	
	Не витримуючи при певній температурі	Витримуючи при певній температурі	Не витримуючи при певній температурі	Витримуючи при певній температурі
100	40	42	35	35,7
200	42	42,3	36,7	36,9
300	43	44	37	38
400	45,3	45,6	39	39,3
500	46	47,2	43	43,2
600	52,5	56	52	58

Табл. VIII

Гранулометричний склад шамоту

Величина зерна мм	2,0	1,5	1,5—1,0	1,0—0,5	0,5—0,2	0,2—0,0
Вміст фракцій у відсотках	19	30	15	26	10	

Табл. IX

Склад спробних мас (у відсотках)

Нумери шихт	Шамот				Глина		
	З часів'яркої глини РВ	З п'ятихатківської глини	З роздорівської глини	Часів'ярска РВ	П'ятихатківська	Роздорівська	
1	65	—	—	35	—	—	—
2	65	—	—	—	35	—	—
3	65	—	—	—	—	35	—
4	—	65	—	—	35	—	—
5	—	65	—	35	—	—	—
6	—	65	—	—	—	35	—
7	—	—	65	—	—	35	—
8	—	—	65	35	—	—	—
9	—	—	65	—	35	—	—
10	—	65	—	10	25	—	—
11	—	65	—	15	20	—	—
12	—	—	65	10	—	25	—
13	—	—	65	15	—	20	—
14	—	65	—	15	—	20	—
15	—	—	65	15	20	—	—

Табл. X

Керамічне випробування зразків спробних мас

Назва шихти	Зступ %	Поруваність %	Водовбирність %	Об'ємна вага
1	6,4	25,3	14	1,8
2	6,6	27,6	15	1,83
3	6,6	25,3	14,3	1,8
4	6,55	27,9	15,4	1,81
5	6,6	23,4	12,5	1,87
6	6,66	30,6	18	1,6
7	6,75	27,4	14,6	1,87
8	6,7	23	11,62	1,98
9	6,85	31,2	16,6	1,8
10	6,7	19,7	10,87	1,81
11	6,7	21,0	10,98	1,90
12	6,8	25,5	13,10	1,90
13	6,7	21,0	11,3	1,93
14	6,6	27,2	14,1	1,88
15	6,75	25,5	12,8	1,90

Табл. XI

Нумери мас	1	5	8	10	11	12
Вогнетривкість в З.К.	31	32	32	33	32-33	33
Вогнетривкість у градусах Цельсія	1690	1710	1710	1730	1720	1730

Визначення вільного вапна в цементі й жужелі методом боратної кислоти

Н. І. Медвідь, Харків

1. Значення кількісного визначення вільного вапна в цементі

Останнім часом надається виняткового значення вивченню питань про вплив вільного вапна на якість цементу. Про це свідчать численні роботи, вміщені в закордонній спеціальній літературі, а також і в відповідних наших журналах. Актуальність проблеми про вплив вільного вапна на якість цементу можна пояснити тими, вже здавна висловлюваними твердженнями, що наявність вільного вапна є одна з головних причин нерівномірної зміни об'єму цементу та зменшення опору цементу проти розриву.

З цього погляду дуже цікаві дослі-

дження Goffin-a і Mussgnug-a¹. Вони досліджували три види цементу, що містили однаково різні кількості вільного вапна, але перший цемент був без жадних домішок, до другого домішано 3%, гіпсу, а до третього — 30% жужеле-піску та 3% гіпсу. Перші цементи², себто без домішки гіпсу й жужеле-піску, при вмісті вже 1% вільного вапна, показали нерівномірність зміни об'єму, що виявлялася то виразніше, що більший був відсотковий вміст вільного вапна.

¹ Zement № 11 13 (1932) S. 145 — 148; 178 — 180: Der freie Kalk im Portland-Zementkliner.

² Zement № 11. S. 146 (1932) Zahlentafel 1. Freier Kalk und Raumbeständigkeit.