

~~0-231947~~
С. С. С. Р. .

№ 158 НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ В. С. Н. Х. № 158

Труды Государственного Экспериментального
Института Силикатов. Выпуск 20

Проф. Н. Н. СМИРНОВ

К МИКРОСТРУКТУРЕ
СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

Издание Научно-Технического Отдела В. С. Н. Х.
МОСКВА—1926

Научно-Технический Отдел В. С. Н. Х. имеет в своем составе
нижеследующие исследовательские научно-технические институты
и учреждения, работу которых он объединяет:

1. Институт Прикладной Химии.
2. Институт Чистых Химических Реактивов.
3. Научный Химико-Фармацевтический Институт.
4. Научный Институт по Удобрениям.
5. Химический Институт имени Л. Я. Карпова.
6. Государственный Экспериментальный Институт Силикатов.
7. Государственный Экспериментальный Электротехнический Институт.
8. Ленинградская Электротехническая Лаборатория.
9. Центральный Аэро-Гидродинамический Институт.
10. Научный Автомоторный Институт.
11. Институт Прикладной Минералогии и Металлургии (Lithogaea)
с Горно-Металлургической Лабораторией в Ленинграде.
12. Научно-Исследовательский Институт по изучению Севера (б. Се-
верная Научно-Промысловая Экспедиция).
13. Ленинградская Лаборатория Тепловых Двигателей.
14. Ленинградская Физико-Техническая Лаборатория.
15. Бюро Металлургических и Теплотехнических Конструкций.

Научно-Технический Отдел издает труды перечисленных институ-
тов в виде отдельных выпусков, из которых каждый содержит труды
только одного института.

По заданиям Научно-Технического Отдела ведется целый ряд
работ по актуальным вопросам промышленности и техники и вне
институтов НТО. Эти работы выполняются различными учеными и
специалистами за счет особого фонда на научно-технические работы.
Работы, выполненные в указанной порядке, войдут в настоящие выпу-
ски трудов в виде ли самостоятельных выпусков, или в серии работ
соответствующего института, к которым они подходят по теме и своему
характеру.

Каждый выпуск имеет два номера; верхний—общий порядковый,
а нижний—порядковый по данному институту.

~~305~~ 20
~~А 82895~~

Депозитарий

С. С. С. Р.

№ 158 НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ В. С. Н. Х. № 158

Труды Государственного Экспериментального
Института Силикатов. Выпуск 20

Проф. Н. Н. СМЕРНОВ

К МИКРОСТРУКТУРЕ
СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

272.243.7

Июль 1953 г. 82895



Издание Научно-Технического Отдела В. С. Н. Х.
МОСКВА—1926

**РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА**

Предисловие.

Предлагаемая работа проф. Н. Н. Смирнова „К микроструктуре силикатного кирпича“ представляет собою попытку выяснить окончательно вопрос о строении силикатного кирпича в связи с его техническими свойствами. Подходя к решению этого вопроса чисто экспериментально, автор устанавливает образование при пропаривании кирпича гидросиликата извести, переходящего на воздухе постепенно в карбонат. Этот вывод объясняет механическую прочность кирпича, установленную техническими испытаниями и строительной практикой.

Коллегия Института.

Летом 1925 года государственным трестом „Моссиликат“ были предприняты работы по возобновлению производства так называемого „силикатного“ кирпича. Недостаток красного кирпича на Московском рынке и трудность удовлетворения рынка в ближайшее время, даже при условии постройки новых заводов, заставили обратиться к этому, быстро изготавливаемому, красивому и прочному материалу.

Не останавливаясь на вопросах чисто производственных, достаточно освещаемых литературой, позволю себе обратить внимание на состав и строение силикатного кирпича, тесно связанные с его свойствами.

Изобретатель его, д-р Михаэлис, предполагал образование в нем (при пропаривании под высоким давлением и при высокой температуре) гидросиликата извести, получающегося благодаря действию гидрата окиси кальция (едкой извести) на кварцевые зерна песка.

Другие авторы придерживались лишь отчасти этого взгляда; по мнению некоторых, при пропаривании образуется не силикат, а гидрат окиси кальция, т.е. просто гашеная известь, но в кристаллическом состоянии. Среди этих противников образования силиката был и наш русский ученый проф. Курдюмов, утверждавший, что силикат совсем или почти не образуется. Посылкой к подобному предположению было, между прочим, то обстоятельство, что химические анализы, произведенные в лаборатории проф. Курдюмова, обнаружили не больше 1,6% растворимой SiO_2 , тогда как при связывании всей извести в форме силиката растворимой кремневой кислоты должно было бы быть не менее 10%. Автор считает, что на поверхности силикатного кирпича образуется корочка углекислой извести (CaCO_3) за счет первоначального гидрата.

Причину прочности силикатного кирпича проф. Курдюмов считает переход извести из аморфного состояния в кристаллическое, при котором между кристаллами возникает сильное сцепление. При дальнейшем переходе кристаллического гидрата окиси кальция в карбонат (см. выше) происходит уменьшение объема цементирующего вещества, в виду того, что удельный вес карбоната больше удельного веса гидрата. См. проф. Курдюмов „Искусственные песчано-известковые камни“ (СПБ. 1900. Изд. Инст. Инж. Пут. Сообщ.).

Переходя к более новой литературе, позволю себе остановиться еще на трех работах.

Инж. Burchartz собрал в своем сочинении „Die Prüfung und die Eigenschaften der Kalksandsteine“ (Berlin 1908) результаты нескольких сот испытаний, произведенных над силикатными кирпичами в лаборатории испытания материалов Grosz Lichterfelde в течение нескольких лет. Этому автору пришлось коснуться всех свойств силикатного кирпича, в том числе и его состава, и в большинстве случаев им произведено определение растворимой кремневой. Он, однако, очень осторожно говорит, что это определение содержания растворимой SiO_2 в кирпиче лишь тогда приобретает значение, когда есть уверенность, что ни песок, ни известь, пошедшие на формовку кирпича, не содержали ее до пропаривания.

Метод, которым автор пользовался для определения растворимой SiO_2 , заключается в следующем: общая сумма песка и растворимой SiO_2 остается, после выпаривания досуха истолченного кирпича с соляной кислотой и фильтрования раствора, на фильтре; этот остаток смывается с фильтра в платиновую чашку, в которой и держится в течение 20 минут, после прибавления едкого кали, на кипящей водяной бане. При фильтровании растворимая SiO_2 проходит через фильтр в раствор, а песок остается на фильтре. Из раствора SiO_2 определяется обычным путем — выпариванием с HCl и фильтрованием. Автор отмечает, что кирпич не должен быть очень сильно измельчен, ибо при этом условии KNO_3 действует растворяюще и на песок.

Применение этого метода дало содержание растворимой SiO_2 в силикатных кирпичах от 1,79% до 10,56%, чаще всего в пределах от 4 до 6%. Burchartz отмечает, на основании своих многочисленных наблюдений, что силикатный кирпич со временем становится более прочным и что он постепенно обогащается углекислою известью, благодаря замещению углекислою воды в гидрате окиси кальция. Этот процесс идет, однако, неравномерно во всей массе кирпича: поверхностные его части быстрее и полнее обогащаются углекислою известью, чем внутренние: некоторые образцы, согласно исследования Burchartz'a, содержали, по истечении двух лет, 5,86% и 6,40% CO_2 во внешних зонах и лишь 0,73% в ядре.

Однако, цитированные до сего авторы не занимались специально вопросом об образовании силиката в кирпиче и лишь на основании химического анализа и общих соображений высказывали тот или иной взгляд на состав и строение силикатного кирпича.

В статье Н. Hirsch'a „Zur Mikroskopie des Kalksandsteins“ (Tonindustrie-Zeitung, 1922, № 135, 9/XII) даются результаты микроскопического исследования его, произведенного со специальною целью — осветить вопрос об образовании силиката.

Этот автор дает краткий очерк микроскопических исследований, произведенных другими учеными, и дополняет собственными наблюдениями.

Первым, кто занялся исследованием микроструктуры силикатного кирпича, был проф. Rinne (см. Tonindustrie-Zeitung, 1903. S. 192),

который наблюдал в шлифах мелко-кристаллические или чешуйчатые новообразования, группировавшиеся вокруг кварцевых зерен; он считал их за гидросиликат извести. В пустотах Rinne нашел много кальцита. Далее, кристаллическое строение новообразований подтвердил Beil (см. Tonindustrie-Zeitung, 1906. S. 636), Hirschwald (там же 1910. S. 259), отметивший, что кварцевые зерна в одних случаях были несколько разъедены, а в других—остались нетронутыми, Kley (там же, 1912, № 23. S. 301), исследовавший голландские кирпичи, Hanisch („Mitteilungen des K. K. technischen Versuchsamtes, 1914). Все эти статьи, по словам Hirsch'a, ограничиваются, однако, приведением микрофотографий и принимают, как факт, образование силиката извести. Указывается, что это кристаллическое новообразование имеет большое значение для качества кирпича.

В дополнение к этим исследованиям Hirsch произвел следующие работы.

Он изучил в лаборатории Зегера и Крамера силикатные кирпичи различных заводов микроскопически, химически и механически, определяя содержание растворимой кремневой кислоты и в кирпичах, и в песках, послуживших для их формовки.

При этом Hirsch пользовался кирпичами, для которых известь гасилась всегда в присутствии песка, хотя и по различным методам (в гасительном барабане, в силосах и пр.).

На микрофотографиях Hirsch'a изображены кирпичи из грубого песка с ясным, как ему кажется, разъеданием зерен; из песка с зернами и крупными, и мелкими; из очень мелкого песка; из песка сильно глинистого. На некоторых фотографиях видны обильные новообразования, с „сильным разъеданием“ кварцевых зерен, иногда в виде каемок вокруг них.

Из всех его цифр выберем те, которые представляют интерес для вопроса о микроструктуре (см. табл. на 8 стр.).

Связывая эти свойства кирпичей с их механическими свойствами, Hirsch утверждает, что наиболее прочными являются кирпичи, сформованные из самого чистого песка.

При этом образуется особенно много кристаллического вещества и наблюдается сильная разъеденность кварца. Он отрицает, что на степень кристалличности цементирующего вещества влияет способ обработки.

Что касается состава самого цементирующего вещества, то, несмотря на основательность своих исследований, Hirsch все-таки не в состоянии точно определить его. Он лишь предполагает, что при пропаривании сначала образуются гели, коллоидальные известково-кремнистые смеси, из которых затем выделяются различные кристаллические вещества.

В высшей степени оригинальные мысли высказывает по вопросу о составе цементирующего вещества силикатного кирпича Beil в своей статье „Weiterentwicklung der Kalksandsteinindustrie“

№ образцов.	Растворимая SiO ₂ в кирпиче.	Содержание СаО.	Характер песка.	Растворимая SiO ₂ в песке.	Степень "разъеденности" кирпича.	Характер цементирующей массы
(3)	8,08%	9,54%	Чистый мелкозернистый.	1,45%	Сильная	Ясно кристаллическая.
(4)	4,16%	5,94%	Нечистый мелкозернистый.	1,69%	Слабая	Слабо кристаллич., есть кальцит.
(6)	5,56%	6,22%	Довольно грубый, с примесями.	1,92%	Слабая	Кристаллическая и чешуйчатая.
(2)	5,50%	7,56%	Сильно глинистый и известковый.	1,68%	Сильная	Слабо кристаллич., есть кальцит.
(5)	7,95%	7,86%	Чистый, среднего зерна.	2,08%	Сильная	Сильно кристаллич. и чешуйчатая.
(7)	7,84%	7,93%	Чистый очень мелкозернистый, железистый.	1,84%	Сильная	Сильно кристаллическая.

(Tonindustrie-Zeitung, 1922, № 27. S. 274). Его основной мыслью является ненужность извести для получения гидрогеля SiO₂, спаивающего зерна песка. Посылками для этого неожиданного вывода служат следующие опыты и наблюдения других авторов.

Ransome действовал на кусочки кремня и зерна песка едким кали под давлением от 4 до 6 атмосфер, получая этим путем щелочной силикат сиропообразной консистенции; он далее смешивал этот раствор с песком, набивал смесью формы и погружал ее, после высыхания, в раствор CaCl₂. В результате взаимодействия щелочного стекла с CaCl₂ получался гидросиликат извести и KCl. Последний вымывался. По Михаэлису, с течением времени гидросиликат извести переходил в СаСО₃, и выделялась кремне-подобная SiO₂.

Leduc и de La Roche установили своими опытами, что давление при пропаривании и время пропаривания силикатного кирпича пропорциональны количеству растворимой SiO₂, в нем получающейся. Их результаты выражаются таблицами:

Давление пара	4	6	8	10 атм.
Растворимой SiO ₂	2,72%	4,25%	6,38%	8,14%
Время пропаривания	4	6	8	10 час.
Растворимой SiO ₂	3,94%	5,2%	5,73%	6,65%

Автор далее указывает, что стеклянный порошок, замешанный с небольшим количеством воды, был переплавлен (кем?) действием водяного пара при 210° и давлении в 20 атм. в компактную массу

стекла, твердость и оптические свойства которого были тождественны стеклу, полученному из расплавленного состояния.

Все эти данные приводят автора к выводу, что роль $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в силикатном кирпиче сводится к плавню, облегчающему растворение SiO_2 . Введения едкой извести можно совершенно избежать, повышая температуру растворения. (Редакция „Tonindustrie-Zeitung“ протестует против взглядов, высказанных Veil'em).

Приведенная литература, которую можно было бы еще значительно пополнить, в общем довольно согласно указывает на двойственный характер новообразований цементирующего песок вещества: 1) на образование силиката извести и 2) на образование гидрата ее. Из этой литературы можно сделать вывод, что нам, просто, в точности неизвестен процесс, происходящий в пропарном котле.

— 46

Таким образом, силикатный кирпич, для которого, повидимому, наступило время широкого применения в СССР, по существу своего состава и строения оставался неизвестным. Благодаря широкой материальной поддержке, оказанной трестом „Моссиликат“, автору удалось произвести кое-какие исследования, имевшие целью осветить эти стороны силикатного кирпича.

В первую очередь удалось произвести микроскопическое исследование довольно большого числа образцов кирпича русского и иностранного происхождения.

Комиссией „Моссиликата“, посланной осенью 1925 года в Германию для изучения успехов в области кирпичной промышленности, были привезены образцы силикатного кирпича с завода Bernhardt в Eilenburg'e в виде небольших плиток, сформованных и пропаренных в присутствии членов Комиссии. Эти образцы, как стандартные, были положены в основу изучения микроструктуры и дали следующие результаты.

Песок, входящий в состав кирпича, представлен зернами, диаметром от 0,2 до 0,5 мм, следующих минералов: преобладающего кварца, небольших количеств микролина, плагиоклаза, кальцита, иногда с хорошими двойниками по ромбоздру, крупных пластинок темной слюды, пластинок светлой слюды внутри зерен кварца и полевого шпата и обломков кварцита, состоящих из мелких зернышек кварца. Форма зерен в общем довольно разнообразна: наравне с округленными имеются и зерна с неровным, почти зубчатым краем (см. таблицы микрофотографий — рис. 1, 7, 8, 9).

Цементирующее вещество между зернами песка представляет собою очень мелкозернистое скопление чешуек, плотно облегающих эти зерна, образуя как бы кольцо, окрашенное в простом свете в более светлые тона, тогда как остальная масса чешуек окрашена в бурые тона. Самые чешуйки настолько мелки, что их одновременно

в поле зрения помещается огромное количество, даже при самых сильных увеличениях микроскопа. Диаметр их достигает максимум 0,002 мм. Их поляризационные окраски колеблются в пределах от серых I до розовых II порядка. Есть некоторая возможность оценить приблизительно показатель преломления чешуек: световая линия Бекке, образующаяся на месте соприкосновения их с зернами песка, обнаруживает передвижение с чешуек на кварц и с полевого шпата (микроклина) на чешуйки, при поднятии тубуса микроскопа. Это дает следующие пределы для среднего показателя преломления чешуек n_m :

$$n_p \text{ кварца} = 1,544 > n_m > n_g \text{ микроклина} = 1,523.$$

Двупреломление, судя по поляризационным окраскам, достигает

$$n_g - n_p = \text{ca. } 0,035 - 37.$$

Ничтожность размеров чешуек не допускает применения сходящегося света, т. е. определения одно или двуосности их, а отсутствие спайностей не позволяет определить углов погасания. Эти дефекты не допускают, следовательно, определения кристаллографической системы.

Переходя к основному, для решения проблемы о их составе, вопросу о соотношениях чешуек с зернами песка, можно отметить следующие наблюдения. Эти соотношения представляются очень близкими для некоторых образцов: чешуйки цементирующего вещества находят на зерна кварца, нарушая цельность и ровность его контуров (рис. 10 и 11); в других случаях чешуйки лишь окаймляют зерна песка, проникая внутрь их до трещинам (рис. 7, 8, 9). Нередко остаются довольно значительные промежутки, не заполненные чешуйками; иногда в них удается подметить присутствие какого-то изотропного вещества, а изредка и бурой окиси.

Следует отметить некоторую двойственность в развитии чешуек: одни обладают свойствами, указанными выше, другие образуют скопления в отдельных участках шлифа, отличаются особенно мелкими размерами и все поляризуют в серых тонах I порядка, тогда как первые поляризуют до синих и розовых II порядка.

Далее, важным фактом является присутствие среди цементирующей массы довольно многочисленных зерен карбоната — кальцита, о природе которого будет сказано ниже.

Мною был далее исследован один образец, сформованный и пропаренный на заводе Бернгарди из песка, присланного в довоенное время из России из района д. Н. Котлы под Москвою (кирпичный завод б. Помелова, ныне завод № 35 „Мос сили к а т а“). Этот кирпич обнаружил под микроскопом состав, почти тождественный предыдущим: цементирующее вещество представлено совершенно такими же чешуйками, а песок — преобладающими зернами кварца разнообразной формы, довольно большим количеством микроклина (процентов около десяти) и меньшим количеством плагиоклаза и карбонатов.

Диаметр зерен колеблется в пределах от 0,20 до 1,00 мм, с преобладанием 0,20—0,50 мм. Контуры этих зерен песка совершенно ровные, закругленные и не обнаруживают никаких признаков разъедания едкой известью.

С целью хотя несколько осветить состав цементирующего вещества, открытые шлифы описанных образцов были обработаны крепкою соляною кислотою на холоду, в результате чего получилось полное растворение всего кристаллического цементирующего вещества и осталось лишь бурого цвета, видимо, аморфное вещество, напоминающее железистое и глинистое вещество шамотного кирпича, облачное и хлопьевидное. Забегая вперед, мы увидим, что и у описываемых ниже кирпичей „Моссиликата“ получается такое же растворение кристаллического цемента (рис. 6). Как мы увидим ниже, основною чертою отличия описанных кирпичей является более крупнозернистый цемент и более плотное сложение.

Изучив, таким образом, несколько образцов иностранного силикатного кирпича, в качестве, так сказать, „стандартного“, я приступил к систематическому изучению кирпича „Моссиликата“, изготовленного в различное время. Образцы брались периодически в течение всего осеннего и зимнего сезона работы завода, начиная с сентября и кончая январем. Привожу результаты микроскопического изучения.

Кирпич, пропаренный 2 сентября 1925 г. Этот образец был сформован из грубозернистого, сравнительно, песка, диаметр зерен которого колеблется в пределах от 0,50 до 0,75 мм, а отдельные зерна имеют даже до 2,0 мм в диаметре. Среди этой крупнозернистой массы рассеяны мелкие зернышки, диаметром от 0,25 до 0,40 мм. Минералы представлены преобладающим кварцем, большим количеством плагиоклаза и микроклина, обрывками карбонатов, хлорита и бурого железняка.

Цементирующее вещество развито в виде чешуек, диаметром в тысячные доли миллиметра, с поляризационными окрасками от серых I до розовых III и IV порядка, с преобладанием низко поляризующих. Исследования в сходящемся свете чешуйки не допускают по незначительности размеров. Разъедающего действия на зерна песка наблюдать не приходится, за исключением нескольких сомнительных случаев. Местами, вместо кристаллического цемента, наблюдается бесструктурное буроватое вещество, а местами и мелкие зернышки карбоната.

Кирпич, пропаренный 15 сентября 1925 г. Песок этого образца несколько мелкозернистее предыдущего: диаметр зерен колеблется от 0,25 до 0,75 мм. Формы их очень разнообразны: округленные, угловатые и зазубренные. В некоторых случаях одинаково-гаснущие зерна кварца, лежащие рядом, оказываются кусками одного раздробленного (или разъеденного действием CaO ?) куска. Преобладают зерна кварца, но очень велико и количество плагиоклаза и микроклина, меньше — хлорита, роговой обманки и карбоната.

Цементирующее кристаллическое вещество, тождественное по свойствам описанному выше, плотно обволакивает зерна песка и заполняет промежутки между ними. На краях некоторых зерен видно проникновение чешуек внутрь их. Однако, было бы весьма рискованно утверждать, что это проникновение есть результат разъедания зерен едкою известью: возможно, что это есть лишь заполнение готовых уже углублений, тем более, что у зерен песка наблюдаются иногда совершенно ровные контуры, абсолютно не задетые „разъеданием“.

Среди скоплений низко поляризующих чешуек встречаются нередко высоко поляризующие зерна карбоната.

Кирпич, пропаренный 9 октября 1925 г. Песок этого образца ничем не отличается от предыдущих, если не считать, наряду с перечисленными минералами, еще и эпидота. Размер зерен 0,25 до 0,75 мм, с преобладанием 0,40—0,50 мм. Особенностью образца является неравномерное распределение цементирующих чешуек: они окружают зерна песка тонкими каемками, промежутки же между ними заполнены темным, изотропным веществом, среди которого рассеяны те же чешуйки. Свойства чешуек нормальны (см. выше).

Кирпич, пропаренный 14 ноября 1925 г. Особенностью этого образца является обилие мелких зерен песка, диаметром от 0,10 мм до 0,20 мм, заполняющих промежутки между более крупными зернами, диаметром от 0,30 до 0,50 мм. Форма зерен более разнообразна, чем в предыдущих случаях — много остроугольных (рис. 2, 4, 5). Минералогический состав их обычный: кварц, плагиоклаз, микроклин, слюда, карбонат, хлорит, эпидот.

Цементирующее вещество состоит из еще более мелких, чем в предыдущих случаях, кристаллических чешуек, отличающихся низкими поляризационными окрасками — до желтых тонов I порядка. Они вплотную окружают зерна песка (рис. 4, 5), служившие, видимо, центрами их кристаллизации, а в промежутках остаются пустоты. Кроме того, размеры чешуй не однородны: более крупные и более мелкие (те и другие в пределах тысячных долей миллиметра в диаметре) разбросаны без всякого видимого порядка. Действие соляной кислоты на чешуйки то же, что и в ранее описанных случаях: они нацело растворяются.

Следует обратить особое внимание на правильные ореолы чешуек вокруг зерен кварца: это обстоятельство должно иметь значение при решении вопроса о составе и происхождении цемента.

Кроме кирпичей, пропаренных в течение осеннего сезона 1925 года, мною были изучены микроскопически еще образцы кирпича „Моссиликата“, пролежавшего в стене заводского здания и в мостовой его в течение многих лет, примерно с 1912 года. Целью их исследования было — изучить изменение в их составе под влиянием атмосферной влаги и углекислоты.

Кирпич из стены здания обнаружил под микроскопом совершенно иную картину, чем вышеописанные: зерна песка рассеяны в мелкозернистом, высоко поляризующем цементе. Песок состоит из

зерен кварца, плагиоклаза, амфибола, хлорита, диаметром не более 0,50 мм, разнообразной формы и размеров (рис. 3, 6). Поражает обилие цементирующего вещества сравнительно с массой песка: зерна последнего отстоят друг от друга иногда на значительном расстоянии (рис. 3). Цементирующее вещество состоит почти исключительно из высоко поляризующих зерен, среди которых лишь изредка мелькают скопления низко поляризующих чешуек типа вышеописанных. Диаметр этих зерен равен тысячным долям миллиметра, они не имеют никаких спайностей и нацело растворяются при действии соляной кислоты на открытый шлиф, с энергичным выделением CO_2 . Произошла, следовательно, почти полная карбонатизация первоначального цементирующего вещества с превращением его в кальцит. После обработки HCl шлиф приобретает вид, изображенный на рис. 6: на месте цемента осталась хлопьевидная бурая масса.

Кирпич из мостовой. Отличительной чертой этих образцов является, как и в предыдущем случае, обилие карбонатного цементирующего вещества сравнительно с массой песка. Первое имеет бурый цвет, объясняемый, видимо, пропитыванием его бурыми и красными окислами железа при лежании кирпича в земле. Диаметр зерен песка обычно от 0,50 до 1,00 мм, но падает и до сотых долей миллиметра. Минералогический состав его тот же, что и во всех остальных кирпичах „Моссиликата“. Сквозь бурую массу цемента проглядывают отчасти низко поляризующие чешуйки обычного типа и зерна карбоната. Соляная кислота растворяет цемент нацело с выделением CO_2 .

В заключение мною были изучены шлифы силикатного кирпича „Донбассиликата“ современного производства.

Эти образцы состоят из окатанных, а иногда угловатых зерен кварца, случайных зерен полевого шпата (плагиоклаза с альбитовыми двойниками), халцедона и кальцита с двойниками по ромбоэдру. Диаметр этих зерен песка колеблется в пределах от 0,2 до 0,5 мм. Цементирующее вещество состоит из обычных мельчайших чешуек, диаметром в тысячные доли миллиметра, с поляризационными окрасками не выше оранжевых I порядка, совершенно бесформенных. Они, следовательно, ничем не отличаются от вышеописанного чешуйчатого цемента кирпичей Беригарди и „Моссиликата“. Местами цемент пропитывается бурой и красной окисью железа.

Произведенное микроскопическое исследование не позволяет установить окончательно характер цементирующей массы силикатных кирпичей. В общем микроскопические данные дают двойственные указания: с одной стороны, чешуйчатый характер цементирующего вещества, его часто высокое двупреломление, его растворимость в соляной кислоте на холоду, его превращение с течением времени в карбонат и, наконец, присутствие зерен кварца, совершенно не затронутых разъеданием, — говорят за то, что цементирующим веществом является гидрат окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, с другой стороны — присутствие иногда мелкочешуйчатого цемента с низкими поляризацион-

ными окрасками, наличием какой-то изотропной аморфной массы среди чешуйчатого цемента и зерен кварца, в которые сбоку врезаются чешуйки цемента — как будто говорят за разъедание кварца едкой известью и образование силиката. Полной уверенности в наличии только гидрата окиси кальция или только силиката ее не остается после одного микроскопического исследования. Скорее остается впечатление двойственности цементирующего вещества, получившегося при пропаривании: и гидрата, и силиката, превращаемых впоследствии, в кладке, в карбонат действием CO_2 атмосферы.

С целью осветить вопрос о составе цементирующего вещества мною был произведен химический анализ шестнадцати образцов силикатного кирпича (см. табл. на 16—17 стр.).

Определено содержание песка, растворимой кремневой кислоты, полуторных окислов, получившихся в результате выпаривания порошка с HCl , извести и потерь при прокаливании. Все эти составные части имеют значение для качества кирпича, почему я и счел более правильным производство подобного анализа, чем обычного валового, при котором выделяется вся кремнекислота, весь глинозем, вся окись железа и т. д., независимо от того, с чем они связаны. Метод анализа, примененный мною, заключается в следующем: образцы кирпичей измельчались, по возможности, без раздробления зерен песка, навески выпаривались дважды с HCl насухо, остаток отфильтровывался и содержал песок и растворимую кремнекислоту; этот остаток смывался с фильтра в платиновую чашку, куда прибавлялся 5%-й раствор KNO_3 , и нагревался двадцать минут на кипящей водяной бане; при этом растворимая SiO_2 переходила в раствор, а песок отфильтровывался (см. выше — Burchartz). Из раствора растворимая SiO_2 определялась обычным путем, и также окись железа + глинозем и известь. Потери при прокаливании определялись из особой навески. CO_2 определена в восьми анализах научной сотрудницей Т. И. Горшковой. Существенным недостатком примененного метода является то, что в группе R_2O_3 заключается часть глинозема и окиси железа, выделенных из силикатов песка действием HCl (например, из слюды, хлорита, полевых шпатов), и все железо, бывшее в песке в виде руды; наконец, часть полуторных окислов осталась еще в песке. Однако, практически в группе R_2O_3 сосредоточено главнейшее количество Fe_2O_3 , которое находилось в песке в виде примеси бурого железняка.

Содержание растворимой SiO_2 в четырех из приводимых ниже анализов было, кроме того, отдельно определено научной сотрудницей Института Силикатов А. И. Коршуновой по методу Лунге, т. е. выпариванием порошка с нормальной HCl и последующей обработкой остатка на фильтре 5%-м раствором соды. Полученные при этом цифры растворимой SiO_2 были значительно выше моих, именно, в порядке вышеприведенных анализов кирпича Bernhardt: 5,25%, 6,65%, 5,59% и

в № 191 8,37%. Следует, однако, иметь в виду, что порошок кирпича при этом измельчался и истирался в агатовой ступке; подобный мелкозернистый песок мог подвергнуться растворяющему действию Na_2CO_3 сам по себе.

Произведенные валовые химические анализы и перечисление их на молекулярные количества дают право сделать следующие выводы.

1. Ни песок, ни смесь его с известью после гашения, ни сформованная смесь, т.е. сырец, не содержат большого количества растворимой SiO_2 ; лишь после пропаривания образуется значительное ее количество — от 6,01 до 8,24%, по нашим данным. Можно, следовательно, без риска большой ошибки утверждать, что при пропаривании выделяется растворимая SiO_2 . Трудно предположить, чтобы она не вступила в реакцию с известью, находящейся в массе, и осталась бы вся в виде аморфной SiO_2 .

2. Сравнивая количество извести и растворимой SiO_2 , мы видим, что количество последней недостаточно для насыщения всей извести.

Кроме того, против образования силиката извести (без H_2O) говорит низкий показатель преломления наших чешуйчатых новообразований. Силикаты $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ во всех их разновидностях имеют показатели преломления от 1,6 до 1,7 (см., напр., Воеске und Eitel „Grundlagen der Phys. Chem. Petrographie“). Из этого следует, что CaO должна быть насыщена также и H_2O , лишь при этом условии получится и полное ее насыщение. Следовательно, остается сделать предположение, что при пропаривании силикатного кирпича образуется гидросиликат.

Таким образом, химические анализы подтверждают вывод, сделанный предварительно на основании микроскопического исследования, о процессе образования, вероятнее всего, гидросиликата извести.

3. Этот гидросиликат, получающийся при пропаривании, является мало устойчивым, судя по постепенному превращению его в карбонат. При процессе карбонатизации (см. таблицу анализов), повидимому, почти вся или вся известь гидросиликата может оказаться связанной с угольной кислотой. Естественно предположить, что при этом кремнекислота остается в кирпиче в виде гидрата или же в безводном состоянии. Это подтверждает микроскоп, обнаруживая в кирпиче какое-то изотропное вещество.

Процесс карбонатизации идет сравнительно быстро, ибо кирпичи, простоявшие с сентября и октября 1925 г., оказались уже содержащими от 3 до 4% угольной кислоты. Эта CO_2 проникает и внутрь кирпича, при чем разница в содержании CO_2 в наружной и внутренней зонах его колеблется от 0,5 до 1%.

Эта карбонатизация имеет большое значение для крепости кирпича, судя по механическим испытаниям.

Так, проф. Н. К. Лахтиным были взяты образцы силикатного кирпича с завода „Моссиликата“ и испытаны на временное сопротивление давлению. Получились следующие цифры (кг на 1 см^2):

Т А Б Л И Ц А
анализов силикатного кирпича в окончательном виде и в стадиях производства.

	Кирпичи завода Bernhardi в Eilenburg'e.			К И Р П И			Ч И „М О С С И Л И К А Т А“.									
	Из песка Bernhardi.		Из песка кирп. завода Моссиликата у д. Н. Котлы.	№ 120 Песок из карьера.	№ 197 Масса после гасит. ба-рабана.	№ 199 Сырец после прессы.	№ 200 кирпич тотчас после пропар.	№ 191 кирпич, пропар. в ноябре 1925 г.	№ 204. Кирпич, пропаренный в сент. 1925 г.		№ 205. Кирпич, пропар. в октяб. 1925 г.		№ 201. Кирпич из карниза дома постройки 1912 г.		№ 203. Кирпич из перил крыльца дома постройки 1912 г.	
									Наружн. часть.	Внутр. часть.	Наружн. часть.	Внутр. часть.	Наружн. часть.	Внутр. часть.	Наружн. часть.	Внутр. часть.
Песок	71,11	75,47	—	96,06	76,77	77,23	60,87	72,37	68,30	70,03	73,22	72,55	74,31	—	—	—
SiO ₂ раств.	4,64	4,65	3,91	0,86	0,75	0,89	6,01	6,68	7,66	8,06	6,87	6,22	6,77	7,50	8,24	6,64
Al ₂ O ₃ (глинозем)	3,46	2,81	3,35	нет	нет	нет	0,36	2,54	0,82	0,50	1,35	—	—	0,86	—	0,63
Fe ₂ O ₃ (окись железа)				1,05	1,34	1,13	1,80		1,54	1,16	1,42	2,23	2,31	2,53	1,62	
CaO (известь)	11,92	9,85	9,33	1,41	13,39	11,86	12,99	11,95	13,08	12,59	11,36	13,79	9,95	10,43	8,79	8,88
H ₂ O (вода)	9,34	7,27	10,16	1,44	7,71	9,51	9,08	7,05	4,48	3,95	3,39	3,46	2,35	2,17	2,25	2,65
CO ₂ (углекислота)									3,52	2,93	3,98	3,00	5,22	5,71	6,25	5,24
	100,47	100,05	—	100,82	99,96	100,42	100,28	100,59	99,66	99,69	101,33	100,41	100,83	—	—	—
	Молекул. количества.			Молекулярные количества.												
SiO ₂ раств.	0,077	0,077	0,065													
CaO	0,212	0,176	0,166													
H ₂ O	0,520	0,403	0,564													
CO ₂	—	—	—													
				0,099 0,110 0,127 0,133 0,114 0,103 0,112 0,124 0,136 0,110 0,231 0,213 0,233 0,225 0,203 0,199 0,177 0,186 0,157 0,158 0,504 0,391 0,248 0,219 0,188 0,192 0,130 0,120 0,125 0,147 — — 0,080 0,066 0,090 0,070 0,119 0,130 0,142 0,119												

- 1) только-что изготовленные кирпичи, испытанные в день доставки:
сухие 130, 58, 47
насыщенные 47, 42, 70
- 2) лежавшие некоторое время на складе
сухие 56, 115, 132
насыщенные 169, 118, 123
- 3) бывшие в деле — кладке здания в течение 14 лет:
сухие 140
насыщенные 168

Эти цифры определенно говорят за то, что полежавшие кирпичи, и тем более долгое время, оказываются более прочными, чем только-что пропаренные. Видимо, образующийся под действием атмосферной CO_2 карбонат является причиной возрастающей прочности.

Произведенное исследование довольно определенно указывает на образование в силикатном кирпиче гидросиликата извести, притом в кристаллической форме.

Эта кристалличность получающегося цементирующего вещества и является причиной его прочности.

В виду этого все операции при производстве силикатного кирпича должны быть направлены к тому, чтобы добиться максимальной кристалличности первоначального цемента. Этому могут содействовать следующие меры, указываемые в порядке последовательности производственных операций.

1. Известь должна быть измолота возможно мельче. Недожог и пережог должны быть устранены из нее совершенно, как неактивные составные части. Тонкость помола увеличивает число центров кристаллизации цементирующих чешуек.

2. Гашение извести (в силосах или в гасительных барабанах) должно быть возможно полным во избежание присутствия неактивных частиц. Впуск извести и песка в гасительный барабан должен совершаться равномерными порциями и одновременно для достижения однородности массы, а, следовательно, для равномерной ее кристаллизации.

3. Прессовка желательна максимальная для достижения наиболее тесного соприкосновения извести с частицами песка. Однако, лишь путем практических опытов можно установить ту максимальную степень прессовки, при которой атмосферная CO_2 сможет еще проникать в кирпич при его карбонатизации.

4. Пропаривание должно совершаться возможно долго для получения возможно крупнозернистой кристаллической массы (см. таблицу стр. 8, Leduc et de La Roche) и максимального количества растворимой SiO_2 . Предел продолжительности пропаривания будет, конечно, поставлен подсчетом рентабельности дела.

Таблица I.



Рис. 1.

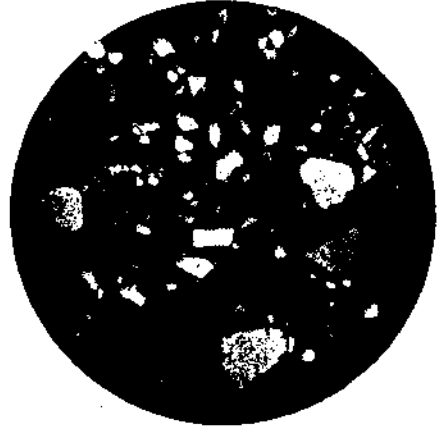


Рис. 2.

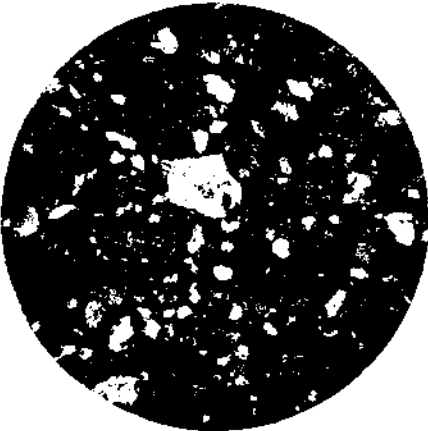


Рис. 3.



Рис. 4.



Рис. 5.

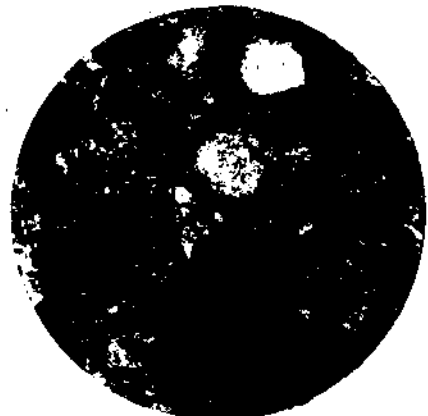


Рис. 6.

82895

Июль 1953 г.

Таблица II.



Рис. 7.



Рис. 8.



Рис. 9.

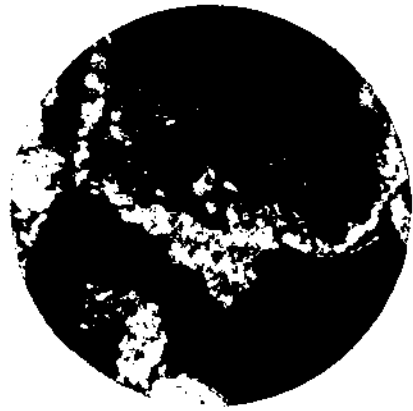


Рис. 10.



Рис. 11.

U. S. S. R.

№ 158

SCIENTIFIC-TECHNICAL DEPARTMENT
OF THE SUPREME COUNCIL OF NATIONAL ECONOMY

№ 158

Transactions of the State Experimental Institute of Silicates
№ 20

THE MICROSTRUCTURE OF SILICATE
BRICKS

by

Prof. N. N. SMIRNOFF

MOSCOW—1926



0000000494505

Бр 102171

Т Р У Д Ы

ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИНСТИТУТА
СИЛИКАТОВ.

МОСКВА, Мясницкая, 24.

1936

- Вып. 1. Проф. *Б. С. Швецов*. — Получение селена из ила Гловеровой башни. М. 1923 (разошлось).
- Вып. 2. Проф. *П. П. Будников*. — К теории приготовления препарата для золочения глазурованных глиняных изделий. М. 1923 (разошлось).
- Вып. 3. Проф. *Б. С. Швецов*. — К вопросу об использовании бисульфата в стекольной промышленности. М. 1923 (разошлось).
- Вып. 4. Проф. *Н. Н. Смирнов*. — Кучинские глины под Москвой. М. 1923 (разошлось).
- Вып. 5. *Его же*. — Кудиновские глины. М. 1923 (разошлось).
- Вып. 6. *К. И. Шарашкин*. — Опыт расчета шихты рудно-скрапного мартеновского процесса. М. 1923.
- Вып. 7. Проф. *П. А. Велихов*. — Новая номенклатура и новые нормы вяжущих веществ. М. 1923, ц. 25 к.
- Вып. 8. Инж.-хим. *С. Г. Туманов*. — Журавлинское месторождение богатых алюминием глин, алунита и боксита по реке Чусовой, Пермской губ. М. 1923.
- Вып. 9. Проф. *И. Ф. Пономарев*. — Обзор работ по кремневым соединениям за 1912—13 гг. М. 1924.
- Вып. 10. *Его же*. — Обзор работ по кремневым соединениям за 1914—1917 гг.
- Вып. 11. *И. Д. Пазилев и Н. Н. Смирнов*. — Некоторые данные об известняках Северо-Востока России. М. 1924 (разошлось).
- Вып. 12. Проф. *А. В. Филиппов*. — Керамика и окрашенный цемент, как облицовочные художественные материалы.
- Вып. 13. Проф. *Б. С. Швецов* и инж. *С. Н. Крашенинников*. — О влиянии электролитов на скорость схватывания цемента.
- Вып. 14. Проф. *П. П. Будников* и инж. *М. Е. Левин*. — Ангидритовый и гипсовый цементы. М. 1924.
- Вып. 15. Проф. *Н. Н. Смирнов*. — О некоторых глинах из продуктивного яруса подмосковного Карбона. М. 1924.
- Вып. 16. Проф. *Б. С. Швецов*. — О сталактитах ванной печи. Проф. *Н. Н. Смирнов*. — О кристаллах из сталактитов стекловарной печи. М. 1924.
- Вып. 17. *К. И. Шарашкин*. — К тепловому режиму стекловаренных печей. М. 1925.
- Вып. 18. Проф. *Н. Н. Смирнов*. — К микроструктуре диасовых кирпичей. К микроструктуре шамотных кирпичей. М. 1926.
- Вып. 19. Проф. *Н. Н. Смирнов*. — Подмосковные кирпичные глины. М. 1926.