

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШЛАКОУСТОЙЧИВОСТИ ОГНЕУПОРОВ

П. П. БУДНИКОВ

(Лаборатория технологии силикатов)

Вопрос о химической устойчивости огнеупоров в условиях службы их у потребителя имеет громадное практическое значение, особенно если принять во внимание, что около 45% огнеупорной продукции, потребляемой тепловыми агрегатами, разрушается от химической неустойчивости. Соприкасаясь при высокой температуре с огнеупорным материалом, шлаки, золы и газы частично внедряются в глубь огнеупора, а частично остаются на поверхности. При взаимодействии шлака, золы и газов на огнеупоры происходят химические процессы, в результате которых образуются новые компоненты.

Изучению механизма разрушения огнеупоров в последнее время посвящены многочисленные работы. Хотя вязкость шлака, степень проникновения его вглубь и истирание являются важными факторами в определении количественного разрушения огнеупора, но все же химические реакции между шлаками, золами и газами и огнеупором являются несомненно наиболее существенными.

В состав шамотного огнеупора входят кремнезем, глинозем и небольшое количество CaO , Fe_2O_3 и щелочей. Зола углей состоит, главным образом, из кремнезема и глинозема (обычно в пропорции 1,7:3) со значительным процентом плавней — окиси железа, извести и щелочей.

Если золу углей и огнеупорный материал выдерживать при температуре котельных топок (1200—1550°), то зола обычно размягчается до более или менее жидкого состояния. Если поддерживать данную температуру достаточно продолжительное время, то между золой и огнеупорным материалом установится состояние равновесия для этой температуры, и образуются определенные соединения. Для того, чтобы выяснить, какие соединения при этом образовались, необходимо охладить образец до комнатной температуры. Так как при охлаждении соединения могут измениться в своем составе, что зависит от скорости охлаждения, то испытуемый образец необходимо охлаждать быстро.

Путем исследования под микроскопом тонких шлифов, приготовленных из испытуемых образцов, могут быть определены образующиеся минералы; нагревание же в различных температурных интервалах даст возможность определить процесс реакции. При низких температурах зола только спекается, а потому под микроскопом она ясно отличима в огнеупоре; под микроскопом в шлаке видно, среди небольшого количества стекла, много кристаллов, характер которых зависит от химического состава золы. Как правило, в состав твердой фазы входят каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), силлиманит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$), муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), магнетит (Fe_3O_4), полевой шпат ($\text{R}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) и кварц (SiO_2). Иногда можно наблюдать и другие минералы, богатые железом, каковы, например: герцинит ($\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), фаялит ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) и альмандит ($3\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$). При повышении температуры твердая фаза постепенно исчезает, количество стекла увеличивается, и шлак проникает в огнеупорный материал. При этом начинается растворение огнеупорного материала, и в результате видна кристаллизация минерала — обычно муллита, выделяющегося из шамотного огнеупорного материала.

Для многих комбинаций шлак-огнеупор критической является та температура, при которой исчезают главнейшие твердые фазы шлака, и начинается заметное проникание последнего в глубь кирпича, вслед за чем может протекать быстрое разъедание огнеупорного материала.

Для испытания огнеупорные тигли со шлаком выдерживаются при требуемой температуре от 4 до 14 часов, после чего они охлаждаются путем погружения их в проточную воду. Охлажденные тигли разбивают или распиливают пополам и из промежуточного слоя между шлаком и огнеупорным материалом готовят тонкие шлифы, которые и рассматривают под микроскопом.

Для сильно активных шлаков, и особенно для тех, которые разъедают огнеупор при температуре около 1300° , весьма желательно применять те огнеупоры, в которых при указанной температуре образуется максимальное количество муллита.

Повышение температуры обжига огнеупорных изделий увеличивает устойчивость их к действию шлаков.

Растворение огнеупорного материала начинается при нижнем пределе температуры, и скорость его увеличивается вместе с повышением температуры.

Дальнейшая работа в этом направлении должна охватить:

а) исследования в восстановительной атмосфере, или исследования с железом в шлаке с определенным и различным соотношением FeO и Fe_2O_3 ;

б) петрографические определения минералов, образующихся в угольной золе и огнеупорах, нагретых отдельно;

в) определение вязкости шлака.

Miehr, Koch и Kratzert [18] предложили высверлить в кирпиче цилиндрическое отверстие, которое плотно заполняется 50 г

шлака. Образец после этого нагревают на 100° выше температуры плавления шлака (обычно $1200\text{--}1400^{\circ}$). Указанная температура поддерживается в течение одного часа; охлажденный кирпич распиливают и измеряют глубину и характер проникновения шлака в огнеупорный материал.

Salmang [2] изучал влияние кислого, основного и нейтрального синтетического шлака на огнеупорные материалы. Порошок шлаков помещался в шамотные тигли, которые нагревались разное время до различных температур. После нагревания тигли распиливались пополам, и определялось разъедание и проникание шлака в глубь огнеупорного тигля.

Salmang [3] нашел следующую последовательность разъедания шамотных тиглей чистыми окисями: PbO , FeO , MnO , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O и Mn_2O_3 . Смеси окисей оказывали более слабое действие, чем чистые окисы.

Miksch и Salmang [4] нашли, что на магнезитовые тигли K_2O , Na_2O , PbO , FeO , Fe_2O_3 , MnO , Mn_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 и CaS не оказывают разъедающего действия, между тем как P_2O_5 и B_2O_3 действуют очень сильно. Разъедающее действие при этом оказывают шлаки, содержащие только двойные или тройные соединения P_2O_5 , B_2O_3 , SiO_2 , и в меньшей степени — содержащие в избытке Al_2O_3 . Разъедающее действие шлаков, содержащих тройные соединения, меньше, чем содержащих двойные. Небольшое количество FeO и CaO в шлаках с тройными соединениями вызывает более сильное действие, чем большое количество указанных компонентов. Самое сильное влияние оказывает CaO .

Salmang и Schick [5] изучили разъедающую силу различных синтетических шлаков, и при этом нашли, что окисы типа MO , где M — металл, действуют подобно основным материалам, между тем как окисы типа M_2O_3 действуют подобно кислым. Последние окисы не разъедают шамот. В силикатных сплавах Fe_2O_3 стабильна до 1580° , между тем как Mn_2O_3 разлагается уже при 1500° . При этих температурах щелочные окисы оказывают такое же действие, как слабые кислоты, а окисы щелочной земли — как сильные основные материалы. P_2O_5 сильно разъедает основные материалы только в том случае, если он находится в большом количестве.

Hebestreit [6] измерял проникание доменного шлака, богатого известью, и шлака, богатого железом, посредством планиметра. Исследуемые им огнеупоры содержали самое разнообразное количество Al_2O_3 и SiO_2 . Шлак набивался в отверстия, просверленные в кирпиче, и затем нагревался до 1460° . Сердечники из высверленных отверстий подвергались испытанию на определение пористости. Автор связывает действие шлака с пористостью огнеупоров.

Salmang и Hebestreit [7] для испытания применяли тигли, изготовленные из смеси обожженного и необожженного каолина (70:30), содержащего от 0,2 до 4% плавней; объемная пористость тиглей была около 24%. FeO сильно разъедала эти тиг-

ли при 1500° . Самое сильное действие оказывалось при 4% Na_2O или TiO_2 . Огнеупоры, содержащие от 2 до 4% плавней, подвергались действию различных шлаков не на много сильнее тех огнеупоров, которые совершенно не содержали плавней. Испытания промышленного кирпича показали, что влияние доменного или мартеновского шлака не зависело от пористости. Кирпич с одинаковым химическим составом и пористостью подвергается одинаковому разъеданию только при одинаковой микроструктуре.

Hyslop и Biggs [8] с целью поддержания одинаковой температуры вращали тигель, изготовленный из четырех стандартных кирпичей, соединенных вместе. Кирпичи помещали на брус размером $12 \times 12 \times 4 \text{ см}$, образуя тигель размером в свету $6 \times 6 \times 4,5 \text{ см}$. Этот тигель помещали на под печи, обогреваемой нефтью. После определенной термической обработки тигель наполняли синтетическим шлаком в два приема; испытание продолжалось несколько часов, до тех пор, пока шлак проникал в шов. Тигель после остывания разбивали, а кирпичи подвергали исследованию. Исследования показали, что два кирпича с одинаковым химическим составом, но с различной структурой, различно относятся к действию на них шлаков. Кирпич с мелкой структурой показал более глубокое проникание шлака.

Salmang и Kaltenbach [9] измеряли степень разъедания огнеупора шлаками на стандартном шамотном тигле. Ими составлена формула, показывающая соотношение между разъеданием в квадратных сантиметрах и процентом основных и кислых составных частей шлака. Они нашли, что окиси сохраняют основной или кислый характер до их разъедающего влияния в расплавленных железисто-силикатных шлаках. Основной характер проявляют в порядке уменьшения силы действия: CaO , Cu_2O , PbO , BaO , FeO , NiO и SnO ; кислый характер проявляют в порядке увеличения силы действия: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Sb_2O_3 , SiO_2 , Ni_2O_3 , ZnO , SnO_2 и Cr_2O_3 . Окиси R_2O и RO (исключая и щелочные металлы) способствуют разъеданию; окиси R_2O_3 , RO_2 и R_2O_5 предотвращают его. Разъедание при 1410° обычно на 50% больше чем при 1320° .

О. Нефедова и Н. Пакуков [10]¹ pripravляли смеси (3:1, 1:1, 1:3) из огнеупора и золы и нагревали их в струе кислорода. За исключением одного случая результаты показали быстрое понижение температуры плавления при содержании золы до 25%, после чего понижение носило более постоянный и равномерный характер.

Hyslop, Gumm и Biggs [11] при своих исследованиях применяли метод, аналогичный Goad—Pryor [12] и Rosenhain [13], которые определяли степень разъедания огнеупоров шлаками по микроструктуре. По их мнению, степень разрушения зависит от:

¹ Известия теплотехнического института, 5, 20 (1929).

- а) плотности растворяемого слоя огнеупора и
- б) структуры огнеупора (размера частиц).

Если образуется легко стекающий сверху слой, то материал с крупными частицами скорее разрушится, чем материал с мелкими частицами. С другой стороны, при очень мелких частицах огнеупор будет довольно быстро разъедаться. При свинцовом стекле огнеупоры с большими шамотными зернами оказались более разъеденными, чем с мелкими, а в известково-натриевом стекле более разъеденным оказался материал с мелкими частицами шамота. Поэтому для свинцового стекла рекомендуется мелкозернистый шамот, а для известково-натриевого стекла — крупнозернистый.

О. Нефедова и Н. Пакуков [14] дополнили метод Nesbitt и Bell [15]. Образец кирпича взвешивался до испытания и измерялся, причем размер отверстия в одной из его сторон определялся посредством волюмометра, применяя чистый песок. Определялась также и пористость кирпича. После этого отверстие заполнялось водой или шлаком, и кирпич нагревался до известной температуры в течение определенного времени. После того как образец остывал, его взвешивали и помещали отверстием книзу на огнеупорный тигель, в котором могла бы скопиться стекающая расплавленная масса. Образец с тиглем помещали в печь, где выдерживали его в течение такого же срока и при той же температуре, что и в первом случае. После охлаждения образец снова взвешивали и измеряли отверстие. По изменению размеров отверстия можно было судить о степени разъедания кирпича данной золой или шлаком.

Авторы отмечают, что пористость является главным фактором устойчивости или разъедания огнеупора. Большое значение имеет также вязкость шлака.

Bowmaker [16] разработал количественный метод определения устойчивости стекольных брусев. Кубик определенного размера ($1 \times 2,3 \times 1,5''$) взвешивался и подвергался действию раствора, содержащего три части фтористо-водородной кислоты и две части серной, в течение трех часов в закрытом свинцовом сосуде, снабженном охлаждаемой крышкой. Потеря веса образца служила мерилom растворимости бруса.

Partridge и Biggs [17] применили метод действия кислотой по Bowmaker'у (см. выше) для различного рода огнеупоров.

Miehr, Koch и Kratzert [18] применили тот же метод, но с небольшими изменениями. Они придавали значение растворимости свободной от муллита части огнеупорного образца.

Hursh [19] для испытания применил вращающуюся газовую печь, в которой стенки представляли испытуемый кирпич. Порошок шлака подавался с одинаковой скоростью через горелку вверху печи и вдувался вентилятором на вертикальной поверхности стандартного испытуемого кирпича. Запись объема кирпича до и после испытания, выраженного в кубических сантиметрах, потери на квадратный сантиметр подвергающейся испыта-

нию поверхности, являются показателем влияния шлака на кирпич. При таком испытании может быть использована различная температура и атмосфера в печи.

Schaefer [20] применил печь, в которой три или четыре бруса нагревались газом до 1600° в течение одного часа. Шлак насыпался сверху через отверстие в печи со скоростью 500 г в 40 минут. Автор придает большое значение проникновению в поры огнеупорного материала летучей золы.

Stromberg [21] приводит описание лабораторной опытной печи с нефтяной горелкой для обогрева и форсункой для введения шлака в пылевидном состоянии. Стандартный кирпич (размером $2,5 \times 4,5 \times 9$ ") вместе с испытуемым помещались в стенку печи, куда подавалось сорок фунтов шлака в час, и выдерживались в течение 48 часов при температуре $1350 - 1450^{\circ}$. Влияние шлака определялось по величине разъеденной части испытуемого кирпича и прониканию шлака в глубь его по сравнению со стандартным кирпичом.

Schaefer и Baumhauer [22] продолжали метод бокового вдувания шлаковой пыли на вертикально поставленный кирпич при высокой температуре. Они испытывали магнезитовый и динасовый кирпичи, при этом применяли различное количество шлака и измеряли глубину его проникания.

Hyslop и Biggs [23] применили метод вращения огнеупорного образца ($9 \times 1,5 \times 1,5$ см) в силитовой печи. При заданной температуре на вращающийся огнеупорный образец постепенно выливался расплавленный шлак. Время, потребное для разрушения испытуемого образца, принималось как показатель прочности огнеупора в условиях испытания.

Mellor [24] указывает, что по химическому анализу золы и летучей части шлаковой пыли можно судить о степени влияния их на огнеупоры.

Dale [25] установил, что главное экспериментальное затруднение при испытании на шлакоустойчивость заключается в отсутствии такого сосуда, который не подвергался бы действию шлака.

Wilson [26] изучал влияние хлористого аммония на шамотный и динасовый кирпич. Взвешенные куски огнеупора помещались в печь и подвергались действию газа хлористого аммония при различных температурах и разных промежутках времени. Результаты анализов образцов до и после испытания показали, что при температурах между 700 и 1200° хлористый аммоний вытесняет из шамотного кирпича железо и глинозем, а из динасового кирпича — железо, глинозем и известь.

Firth, Hodkin и Turner [27] изучали вопрос о разъедании шамотных горшков и тиглей расплавленным стеклом. После испытания производился анализ расплавленного стекла для определения увеличения содержания в нем глинозема и окиси железа. По увеличению содержания в стекле глинозема и окиси железа можно судить о степени разъедания шамотного горшка.

Hustin [28], анализируя кирпич перед помещением его в куз-

нечный горн, через 8 дней после его службы в указанном горне, установил, что соотношение между SiO_2 и Al_2O_3 значительно изменяется. Автор считает, что после растворения плавающих силикатов и свободного кремнезема кирпич обогащается глиноземом, который предохраняет его от быстрого дальнейшего разъедания поверхности.

Dale [29] также путем химического анализа установил, что процентное соотношение между глиноземом и кремнеземом в шлаке, образующемся от взаимодействия окалина с 70% кремнезема в кирпиче, в печи для нагрева болванок изменяется. Это указывает на растворение кремнезема окисью железа и в восстановительной атмосфере.

Вопрос о разъедании огнеупоров в производственных условиях был изучен Glass Research Association [30]. В различных местах и на различной глубине стен стеклоплавильной ванны были помещены термоэлементы, при этом в течение нескольких месяцев работы производилась систематическая запись колебания температуры в стенках печи. В результате были получены диаграммы, ясно иллюстрирующие скорость разъедания стен в различных частях печи.

Sherman [31] применял подобный же метод колебания температуры в огнеупорах для котлов, но испытания производились только в течение нескольких дней и не до окончательного разрушения огнеупоров.

Такого рода исследования, несомненно, имеют исключительную промышленную ценность для изменения конструкции печей, контроля температуры, применения специальных огнеупоров, охлаждающих устройств и различных видов топлива.

Insley [32] изучал разъедание стекольных брусьев, приготавливая тонкие шлифы слоя между огнеупором и стеклом, взятым с заводской установки. Огнеупоры ниже линии стекла дают узкую, белую промежуточную зону кристаллов муллита. Кристаллы муллита находятся в стеклянной массе. В зоне между огнеупором и известково-натриевым стеклом часто имеется небольшой слой шестигранных пластинок корунда (Al_2O_3), по которой Инслей вычисляет относительную нерастворимость корунда в известково-натриевых стеклах. Стекловидная масса огнеупора подвергается разъеданию, повидимому, первой, образуя очень вязкое стекло, из которого осаждается корунд после того как достигается накопление определенного количества глинозема. Из этого следует, что корунд труднее растворяется в этих основных плавнях, чем глиноземистые силикаты. Поэтому глиноземистые огнеупоры более устойчивы к действию расплавленного стекла.

McDowell и Lee [33] петрографически исследовали бывшие в употреблении и ошлакованные огнеупорные изделия и нашли, что главными соединениями в остывшем шлаке являются:

- а) плагиоклаз,
- б) магнетит и гематит,

- в) муллит с окисью железа в твердом растворе и
г) стекло.

Промежуточный слой между огнеупорным изделием и шлаком состоит, главным образом, из муллита, который, будучи окружен шлаком, вырастает в огнеупорном изделии до больших игол. В высокоглиноземистых огнеупорах, изготовленных из диаспора, промежуточный слой значительно толще и в нем имеются зерна корунда. На наружной поверхности заметен муллит, но, по мере приближения к огнеупору, он смешивается с пластинками корунда.

McVay и Hursh [34] петрографически исследовали образцы огнеупоров, подвергавшихся испытанию во вращающейся печи [35].

Шамотный кирпич устойчив против проникания шлака вследствие образования плотного, непористого слоя и остекловывания огнеупорного материала. Если имеется большое количество стекла, то шамотные частицы легче разъедаются и отделяются.

В кирпич из диаспора шлак проникает глубже ввиду того, что температура его плавления очень высока и что при рабочей температуре печи он остается пористым. После того, как поры заполняются шлаком, дальнейшее проникание его прекращается.

Klinefelter и Rexford [36] разработали метод, согласно которому шлак, содержащийся в огнеупорном тигле, гранулировался. Изучая петрографические тонкие шлифы, приготовленные из этих гранулированных образцов шлака, авторы считают, что температура, при которой действует шлак на огнеупоры, должна быть ниже критической, так как за пределами ее можно ожидать сильного разъедания огнеупорного материала.

Приведенные данные лабораторных испытаний огнеупоров на шлакоустойчивость не учитывают всех факторов, влияющих на огнеупор в условиях его службы. Если пользоваться большими образцами, то трудно поддерживать точный контроль, при этом затрачивается много времени и расходуется много материала и средств. Если же пользоваться маленькими образцами, то состав шлака может меняться в процессе испытания, и его химическая активность может понизиться; кроме того, нельзя достигнуть полного разрушения.

В процессе лабораторных исследований возник ряд существенных вопросов. Так, выявилась необходимость отличать проникание шлака от растворения им огнеупора или химического разъедания. Среди описанных методов испытания интересным является метод определения температуры плавления смеси огнеупора со шлаком [37], но этот метод исключает момент проникания расплавленного шлака в глубь испытуемого образца. Интересными являются также пути определения химического анализа слоя между шлаком и огнеупорами и их оценка. Наиболее ценным методом, повидимому, будет тот, который позволит выявить химическое разъедание и проникание шлака в глубь кирпича. Изучение тонких шлифов, приготовленных из шлака и огнеупоров, после испытания в поляризационном микроскопе

обещает очень много в части определения процесса разъедания огнеупоров шлаками [38].

Разработанный нами метод определения шлакоустойчивости огнеупорного кирпича заключается в следующем. В кирпиче сверху делают углубление в виде прямоугольной канавки размером $120 \times 30 \times 30$ мм.

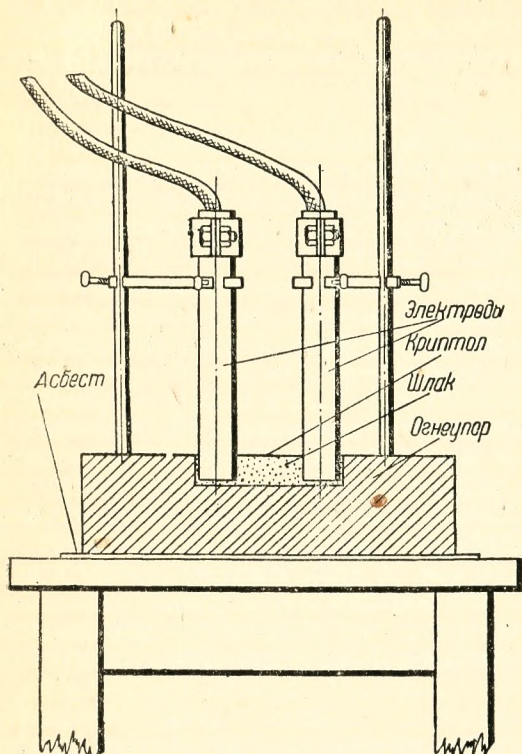


Рис. 1

Кирпич кладут на соответствующий столик на асбестовой прокладке. В канавку кирпича вводят два угольных электрода длиной 150 мм и диаметром 25 мм. Электроды укрепляют на железных штативах с асбестовой изоляцией на зажимах. Расстояние между электродами устанавливают в 70 мм при глубине погружения их в канавку на 25 мм.

Таким образом расстояние электродов от дна углубления в кирпиче составляет 5 мм.

Провода от электродов соединяются через реостат, вольт- и амперметры с электросетью (рис. 1).

Когда таким образом аппарат собран, канавку кирпича между электродами и вокруг них на-

полняют шлаком. Для испытания был взят основной шлак металлургического завода. Между электродами поверх шлака насыпают узкую полоску криптола.

Экспериментальная часть

Для исследования были взяты шамотный, магнезитовый и хромомagneзитовый кирпичи.

Данные исследования взятых огнеупоров

Шамотный кирпич

SiO_2	...	61,89%
Al_2O_3	...	32,06%
Fe_2O_3	...	1,51%
TiO_2	...	0,89%
CaO	...	1,09%
MgO	...	0,45%

Огнеупорность	ЗК 32
Водопоглощение	11,5
Объемная пористость	24,3%
Начало деформации под нагрузкой 2 кг/см ²	1300°
Дополнительная усадка (1400°, 1 час)	0,41%
Механическая прочность	190 кг/см ²

Магнетитовый кирпич

MgO	93,35%
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	3,60%
SiO ₂	2,06%
CaO	1,23%
Огнеупорность	выше ЗК 40
Удельный вес	3,54
Объемный вес	2,65
Водопоглощение	8,6%
Начало деформации под нагрузкой 2 кг/см ²	1530°
Механическая прочность	390 кг/см ²

Хромо-магнетитовый кирпич

Cr ₂ O ₃	21,45%
MgO	49,48%
Al ₂ O ₃	10,56%
Fe ₂ O ₃	12,13%
SiO ₂	5,30%
CaO	0,46%
MnO	0,39%
Огнеупорность	выше ЗК 40
Удельный вес	3,83
Объемный вес	2,78
Механическая прочность	460 кг/см ²
Начало деформации под нагрузкой 2 кг/см ²	1480°
Водопоглощение	8,6%

Тошкентские шлаки

SiO ₂	46,08%
Al ₂ O ₃	14,50%
Fe ₂ O ₃	21,14%
MnO	0,66%
CaO	7,00%
MgO	0,17%
SO ₃	1,20%
Потери при прокаливании	2,30%

Шлакоустойчивость определялась вышеописанным способом (рис. 1).

Нагревание вначале производилось медленно. При темно-красном калении шлака избыточный криптон сдувался и плавление шлака уже продолжалось самостоятельно.

Показания амперметра при полном включении реостата вначале, почти до образования вольтовой дуги, были равны 10.

При бурном кипении шлака на границе образования вольто-

вой дуги амперметр показывал 70—75 ампер при вольтаже 110.

В первом случае при испытании хромомagneзитового кирпича была допущена на 3—4 секунды вольтова дуга. В других случаях вольтова дуга не допускалась.

В результате исследования выяснилось следующее:

1. Хромомagneзит плюс доменный краматорский шлак — получалось сильное плавление не только шлаков, но и самого огнеупора.

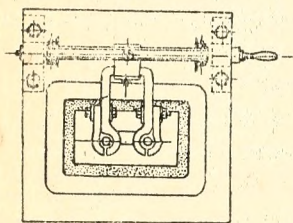
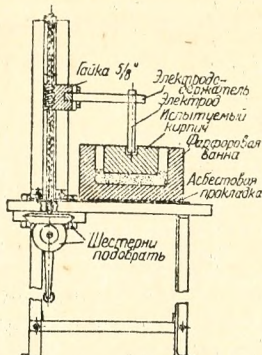
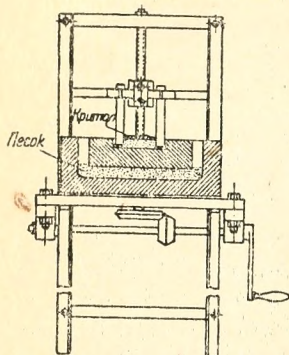


Рис. 2

Шлаки, как это было заметно и невооруженным глазом, тесно перемешались с составом огнеупора, и ясной границы между последним и шлаком невозможно было заметить.

2. Магнезитовый кирпич плюс тот же краматорский доменный шлак — при

действии этого шлака на магнезит в течение 11—12 минут при бурном кипении шлака не удалось установить какой-либо глубины проникания его внутрь кирпича. Граница раздела тела кирпича и шлаков была четко видна. После остывания шлак легко отделялся от магнезита.

3. Шамотный кирпич и тот же доменный краматорский шлак — после действия шлака

в течение 9—10 минут кирпич оказался разъеденным на 3—4 мм.

Из данных исследования можно сделать следующие выводы:

1. Быстрота и простота постановки этих опытов позволяет в течение одного часа сделать несколько полных испытаний.

2. Способ не требует никаких дорогостоящих установок.

Для получения наиболее благоприятных результатов нужно:

1. Помещать испытуемый кирпич, во избежание растрескивания, в фарфоровую ванночку, наполненную подогретым песком (слой 25—30 мм). Фарфоровая ванночка явится одновременно и изоляцией.

2. Реконструировать аппарат, а именно механизировать подъем электродов, во избежание их сращения со шлаками во время прохождения тока (рис. 2).

3. Не допускать при опытах вольтовой дуги, выключая в таких случаях рубильник и охлаждая несколько бурлящий шлак свежим шлаком.

4. Обязательно добавлять во время плавления шлак — для получения большой расплавленной массы.

5. Помещать кирпич в песочную ванночку немного подогретым, во избежание растрескиваний в результате термических воздействий.

6. Применять криптол не слишком мелкий; желательно употреблять узкие угольные стерженьки.

7. Подвергать огнеупор после испытания петрографическому исследованию. Шлифы должны быть сделаны из испытуемых материалов, взятых на границе действия шлаков на огнеупоры, и лишь по этим данным делать верные выводы о характере действия шлаков на огнеупоры.

8. Располагать точным анализом как шлаков, так и испытуемых огнеупоров, а также пористости последних.

9. При производстве опытов надевать защитные синие очки

Определение шлакоустойчивости методом плавления смеси огнеупора со шлаком

Для исследования были взяты полукислый огнеупорный кирпич Красногоровского завода, шамотный кирпич из кировской

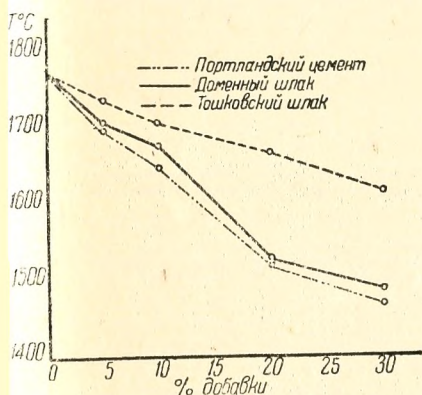


Рис. 3. Динасовый кирпич п. м. (деконский), удельный вес 2,40.

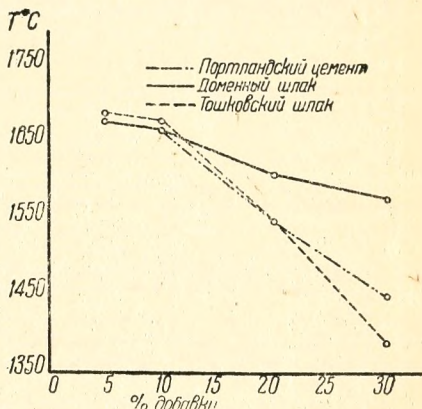


Рис. 4. Шамотный кирпич № 1 из кировской глины.

глины, полукислый кирпич Просяновского завода, шамотный кирпич Часов-Ярского завода № 2 им. Артема, динас Деконского завода, динас Пантелеймоновского завода и динас Красногоровского завода.

В помещенной ниже таблице 1 приведены данные исследования (химический состав, огнеупорность и удельный вес) взятых нами огнеупоров.

В качестве реагирующих добавок применялись: портландцементный клинкер, основной доменный шлак Краматорского металлургического завода и шлак тошкинских углей в количестве 5, 10, 20 и 30%.

Таблица 1

Название огнеупора	Химический состав (в %)										Огнеупор- ность в 3К	Удельный вес
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	S	SO ₃	MnO	Потери при прока- ливании		
Полукислый кирпич Красногоровского за- вода	71,48	24,31	2,07	1,02	0,72	0,37	—	—	—	—	31	—
Шамотный кирпич из кировской глины	54,83	42,94	1,27	—	0,59	0,09	—	—	—	—	34—35	—
Полукислый шамот Просьяновского завода .	70,11	27,54	1,49	0,13	1,10	0,68	—	—	—	—	32	—
Шамотный кирпич Ча- сов-Ярского завода № 2 им. Артема	60,73	31,47	1,89	1,10	1,24	0,71	—	—	—	—	31	—
Динас Деконского за- вода	94,56	1,41	1,27	—	2,48	0,15	—	—	—	—	33	2,40
Динас Пантелеймонов- ского завода	93,98	1,46	1,14	—	2,84	0,13	—	—	—	—	33	2,445
Динас Красногоров- ского завода	95,18	0,79	0,87	—	2,88	0,09	—	—	—	—	33	2,33
Динас Красногоров- ского завода	95,21	0,83	0,79	—	2,73	0,11	—	—	—	—	33	2,311
Основной шлак до- менных печей	31,50	10,25	0,60	—	49,9	2,36	1,31	1,43	1,01	—	—	—
Шлак Тошкинских га- зовых угля	46,08	14,50	21,14	—	7,00	0,17	—	1,20	0,66	2,30	—	—
Портланд-цементный клинкер	24,20	7,20		—	64,47	0,61	—	1,63	—	1,32	—	—

Название кирпича	Темпера- тура плавления огнеупора °C	П р и м е с и											
		Портланд-цементный клинкер				Доменный шлак основной				Шлак Тощинских углей			
		5%	10%	20%	30%	5%	10%	20%	30%	5%	10%	20%	30%
Полукислый кирпич (Красно- ровский)	1690	1620	1450	1380	1320	1640	1540	1400	1325	1670	1650	1560	1530
Шамотный кирпич из кирзовской глины	1775	1700	1650	1520	1470	1710	1680	1535	1400	1740	1710	1670	1620
Полукислый кирпич (Присянов- ского завода)	1710	1610	1450	1340	1270	1620	1530	1380	1270	1680	1640	1560	1480
Шамотный кирпич завод № 2 им. Артема)	1685	—	1580	1520	1380	—	1575	1520	1360	—	1670	1580	1560
Динас (Деконского завода, удель- ный вес 2,40)	1730	1680	1660	1550	1450	1680	1660	1610	1580	1690	1680	1550	1290
Динас (Красногоровского завода, удельный вес 2,33)	1730	—	1660	1550	1440	—	1670	1560	1450	—	1680	1570	1470
Динас (Пантелеймоновского за- в. да, удельный вес 2,445)	~1730	—	1670	1550	1435	—	1680	1560	1445	—	1690	1570	1455
Динас (Красногоровского завода, удельный вес 2,311)	1730	—	1670	1560	1450	—	1680	1570	1460	—	1690	1580	1470

Для постановки данных опытов тщательно приготовленную смесь (тонкость измельчения: зерна до 0,3 мм без остатка) замешивали с 10% раствором декстрина и готовили конусы типа zegеровских высотой 28 мм при длине стороны основания 9 мм. Конусы высушивались в электрическом сушильном шкафу при 104°С.

Температура плавления приготовленных таким образом конусов определялась в трубчатой криптоловой печи.

Температура плавления измерялась конусами Зегера и контролировалась оптическим пирометром Хольборн—Курльбаум.

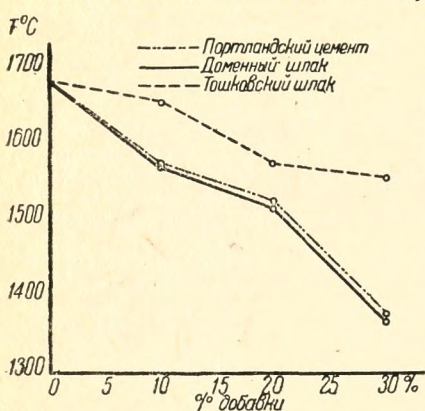


Рис. 5. Шамотный кирпич завода № 2 им. Артема, Часов-Яр.

Результаты испытания приведены в таблице 2.

Для наглядности на рис. 3, 4 и 5 показаны кривые снижения огнеупорности: шамотного кирпича из Кировской глины (рис. 4), динасового кирпича с удельным весом 2,40 Деконского завода (рис. 3) и шамотного кирпича завода № 2 им. Артема из Часов-Ярской глины (рис. 5).

Метод испытания огнеупоров на шлакоустойчивость путем определения температуры плавления смеси огнеупоров со шлаком или другими химическими агентами представляет большой практический интерес, но в нем,

конечно, не может быть учтен момент проникновения расплавленного шлака в глубь испытуемого огнеупора.

Литература

1. Tonind. Ztg., 51, 121 (1927); Amer. Ceram. Soc., (Abstr.), 6 (10), 449 (1927)
2. H. Salmang. Stahl u. Eisen, 47, 1816 (1927).
3. H. Salmang. Arch. f. Eisenhüttenwesen, 2, 439 (1929).
4. R. Miksch und H. Salmang. Arch. f. Eisenhüttenwesen, 3, 313 (1929).
5. H. Salmang und F. Schick. Arch. f. Eisenhüttenwesen, 4, 299 (1930).
6. О. Hebestreit. Шлакоразъедаемость шамотного кирпича в зависимости от содержания плавней и пористости. Диссертация. Высшее Техническое училище в Ахене (1930).
7. H. Salmang und O. Hebestreit. Feuerfest, 7, 1 (1931).
8. I. Hyslop and H. Biggs. Trans. Ceram. Soc., (Engl.), 30, 288 (1931).
9. H. Salmang und Kaltenbach. Feuerfest, 7, 161 (1931).
10. О. Нефедова и Н. Пакуков. Известия Теплотехнического института 5, 20 (1929).
11. I. Hyslop, R. Gumm and H. Biggs. Journ. Soc. Glass. Techn., 10, 405 (1926).
12. E. Goad—Pryor. Journ. Soc. Glass. Techn., 2, 285 (1918).
13. W. Rosenhain. Journ. Soc. Glass. Techn., 3, 93 (1919).
14. О. Нефедова и Н. Пакуков. Известия Теплотехнического института, 5, 20 (1929).
15. C. Nesbitt and M. Bell. Proc. A. S. T. M. (11), 16, 350 (1916).

16. E. Bowmaker. Journ. Soc. Glass Techn., 13, 130 (1929).
17. J. Partridge and H. Biggs. Journ. Soc. Glass Techn., 14, 63 (1930).
18. W. Miehr, Koch und Kratzert. Journ. Soc. Glass Techn., 15, 30 (1931).
19. R. Hursh Trans. A. S. T. M. Fuels and Steam Power. 51 (22), 339 (1929).
Ред. см. Ceram. Abs., 8 (12), 887 (1929).
20. J. Schaefer. Tonind. Ztg., 54, 1223 (1930).
21. B. Stromberg. Chem. Met. Eng., 37, 685 (1930).
22. J. Schaefer und F. Baumhauer. Feuerfest, 7, 33 (1931).
23. J. Hyslop and H. Biggs. Refrac. Journ., 8 (2), 52 (1932).
24. J. Mellor. Trans. Ceram. Soc., (Engl.), 13, 12 (1913).
25. A. Dale. Trans. Ceram. Soc., (Engl.), 25, 326 (1925/26).
26. L. Wilson. Trans. Ceram. Soc., (Engl.), 23, 39 (1923).
27. E. Firth, F. Hodkin, D. Turner and W. Turner. Journ. Soc. Glass Techn., 7, 218, (1923).
28. R. Hustin. Chim. et Ind., 14 (5), 691 (1925).
29. A. Dale loc cit.
30. Glass Research Association. Trans. Ceram. Soc., (Engl.) 25, 336 (1925/26).
31. R. Sherman. U. S. Bur. Mines, Bull., 334 (1931).
32. H. Insley. Journ. Amer. Ceram. Soc. 7 (8), 583 (1924).
33. S. McDowell and H. Lee. Journ. Amer. Ceram. Soc., 11 (1), 35 (1928).
34. T. McVay and R. Hursh. Journ. Amer. Ceram. Soc., 11 (11), 868 (1928).
35. Trans. A. S. T. M. Fuels and Steam Power, 51 (22), 339 (1929).
36. T. Klinefelter and E. Rexford. Trans. A. S. T. M. Fuels and Steam Power, 53 (22), 301 (1931).
37. А. В. Терещенко. Известия Теплотехнического института, 5, (1925).
См. также П. П. Будников. Огнеупорные материалы при термической возгонке фосфора из фосфоритов. „Химстрой“, 6, 341 (1934).
- Труды VI Менделеевского съезда. II, ч. I, 472—483 (1935).
38. Обзор работ по методам испытания огнеупоров на шлакоустойчивость.
См. Н. Simpson. Journ. Amer. Cer. Soc., 10, 520—544 (1932). П. П. Будников „Строительные материалы“ 4, 35—42, (1929), А. И. Августинник. „Керамика и стекло“ 6, 317—319 (1930), А. И. Крамаренко. „Огнеупоры“ 7, 744—749 (1935).

TO THE METODICS OF DETERMINING THE SLAG RESISTANCE OF REFRACTORIES

P. P. BUDNIKOFF

The purpose of the work was to obtain a new method of determining the slag resistance of refractory brick. Grog, magnesite and chrome magnesite brick were taken for the investigation.

The method of determining the slag resistance of refractory brick that has been worked out is as follows: in the brick is made from above a hole of a rectangular shape measuring $120 \times 30 \times 30$ mm. The brick is laid on an appropriate table on an asbestos underlayer. Two coal electrodes 150 mm long and 25 mm in diameter are introduced into the hole. These electrodes are fixed on iron stands with asbestos insulation on the clamps. The distance between the electrodes is 70 mm and the depth of their entering the hole 25 mm, thus their distance from the bottom of the hole is 5 mm. The wiring of the electrodes is connected through a rheostat, a voltmeter and an ammeter with the electrical network (fig. 1, page 42).

After the apparatus has been thus mounted, the hole between and about the electrodes is filled up with slag. For the investiga-

tion was taken basic metallurgical slag. Between the electrodes over the slag is strewn a narrow strip of cryptol.

The advantages of this method consist in the quickness of the determination. At the same time were determined slag resistances of different refractories (the abovementioned ones and also of semi-acid, silica-grog, silica-brick of different specific weights—2,33, 2,40, 2,455) by determining the fusion temperature of a mixture of the refractory with slag or with other chemical agents. These determinations present a considerable practical interest, but they cannot, of course, take into account the penetration of fused slag inside the refractory material investigated.