



ГИГРОСКОПИЧНОСТЬ ВЫСОКООСНОВНОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО ФЛЮСА

С. И. МОРАВЕЦКИЙ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Экспериментально установлено, что гигроскопичность синтетического кислого флюса находится на том же уровне, что и у стандартных плавящихся флюсов. С повышением основности синтетических флюсов от 0,8 до 2,4 их гигроскопичность возрастает не менее чем в 10 раз. Это, вероятно, обусловлено наличием свободной извести, образующейся в синтетическом флюсе в результате твердофазной реакции между оксидом магния и фторидом кальция во время спекания флюса. Результаты термодинамического расчета и данные эксперимента подтверждают сделанное предположение.

Ключевые слова: сварочный флюс, оксидно-фторидная система, основность, гигроскопичность, фазовый состав, твердофазная химическая реакция

Важным результатом исследований, выполненных в ИЭС им. Е. О. Патона, была разработка сварочных флюсов, получаемых путем твердофазного синтеза исходных шихтовых компонентов и механического измельчения спеченного продукта на гранулы [1].

Увеличение основности флюсов может вызывать ухудшение их сварочно-технологических свойств. Указанная тенденция была отмечена и для синтетического флюса. Так, после сравнительно недолгой выдержки флюса СФТ-6 (ТУ ИЭС 839–93) с основностью $B_{\text{МИС}} = 2,4$ во влажных атмосферных условиях при наплавке под ним низколегированной теплоустойчивой стали обнаружены некоторое ухудшение формирующей способности флюса, потускнение поверхности шва,

а в некоторых случаях — и единичные поры. При повторной прокатке такого флюса при 550...600 °С в течение 2 ч эти недостатки устранялись. Выдержка во влажной атмосфере низкоосновных синтетических флюсов, например опытного флюса СФ-1 ($B_{\text{МИС}} = 0,8$), не приводит к заметному ухудшению сварочно-технологических свойств. Поэтому можно предположить, что с ростом основности синтетические флюсы, подобно другим, приобретают повышенную гигроскопичность.

Цель настоящей работы заключалась в экспериментальном определении гигроскопичности и установлении причин ее увеличения с ростом основности синтетических флюсов типа СФТ-6 системы $\text{MgO}-\text{CaF}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. Для сравнительных оценок определяли также гигроскопичность стандартных флюсов других типов (агломерированного, плавящихся стекловидных и плавящего пемзовидного), а также низкоосновного синтетического флюса. Для изготовления синтетических

Таблица 1. Некоторые шихтовые материалы, используемые для изготовления синтетических флюсов

| Шихтовый материал | Основной компонент материала | Марка | Нормативный документ |
|---|---|----------|----------------------|
| Порошок периклазовый спеченный для сталеплавильного производства (магнезит) | MgO | ППК-88 | ГОСТ 24862–81 |
| Концентрат плавикошпатный кусковой (флюорит) | CaF ₂ | ФКС-95А | ГОСТ 4421–73 |
| Глинозем | Al ₂ O ₃ | ГК | ГОСТ 6912–87 |
| Полевой шпат для электродных покрытий | NaK[AlSi ₃ O ₈] | ПШМ | ГОСТ 4422–73 |
| Стеклобой* | Na ₂ O-CaO-6SiO ₂ | — | — |
| Песок кварцевый | SiO ₂ | ПБ-150-1 | ГОСТ 22551–77 |
| Концентрат марганцеворудный для покрытия электродов | MnO | — | ГОСТ 4418–75 |
| Марганец металлический | Mn | Mn95 | ГОСТ 6008–90 |
| Известь кальциевая негашеная | CaO | Сорт 1 | ГОСТ 9179–77 |
| Графит кристаллический литейный | C | ГЛ-1 | ГОСТ 5279–74 |

* Порошковый материал, продукт помола натрий-кальций-силикатного стекла (Soda-lime glass), являющегося браком и отходами производства посуды и декоративных стеклянных изделий по ГОСТ 24315–80 и (или) листового стекла по ГОСТ 111–2001.



Таблица 2. Гигроскопичность флюсов различных типов

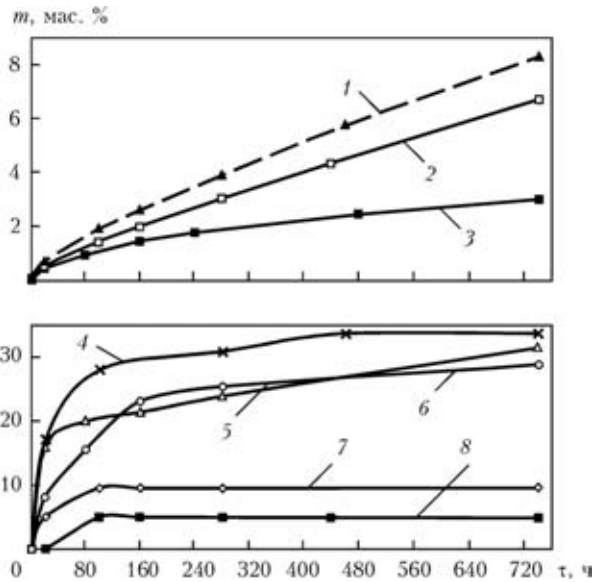
| Марка флюса | Тип флюса | Основность флюса $B_{\text{МИС}}$ | Гигроскопичность*, мас. % |
|-------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| ОК 10.63 | Агломерированный | 2,56 | 8,4 |
| СФТ-6 | Синтетический | 2,40 | 6,8 |
| Б1 | » | 2,40 | 3,08 |
| АН-66 | Плавленный пемзовидный | 0,97 | 0,34 |
| АН-22М | Плавленный стекловидный | 1,35 | 0,32 |
| СФ-1 | Синтетический | 0,80 | 0,29 |
| АН-67Б | Плавленный стекловидный | 1,04 | 0,097 |
| АН-43 | » | 1,12 | 0,050 |

* Гигроскопичность за 744 ч выдержки во влажной атмосфере.

флюсов (объектов исследования данной работы) выбрали шихтовые компоненты из табл. 1. Определение гигроскопичности флюсов проводили с помощью гравиметрического метода.

Влага во флюсах условно подразделяется на несколько форм, отличающихся видом и энергией связи между атомами водорода, кислорода и материалом флюса [2]. Значение указанной энергии определяет температуру термической десорбции влаги из флюса. В плавленных флюсах, гранулированных выливанием расплава в воду, большая часть химически связанной влаги (около 80 %) относится к высокотемпературной форме и удаляется при значениях температуры 800...1000 °С [2]. Во флюсах, не подвергающихся «мокрой» грануляции, высокотемпературная форма влаги отсутствует.

Для определения содержания влаги во флюсах существует стандартный метод [3], позволяющий установить общее (валовое) выделение влаги из флюса в температурном интервале 20...1000 °С. Однако ввиду поставленной задачи предстояло оценить гигроскопичность флюсов, т. е. их способность поглощать влагу после повторной прокалики и при последующей выдержке в атмосфере. Объектами оценки были флюсы, существенно отличающиеся по способу изготовления и поэтому постоянно содержащие заранее неизвестное количество влаги различных форм. С учетом отмеченного применение метода, описанного в работе [3], с неизбежностью приведет к получению численных результатов, которые трудно интерпретировать и корректно сравнивать без проведения большого количества вспомогательных экспериментов. Влага, сорбированная флюсами в ходе данного эксперимента, являлась бы в каждом случае неопределенным слагаемым в уровне ее валового выделения, определяемого методом, приведенным в работе [3]. Вместе с тем проще оценить гигроскопичность флюсов, выдерживая небольшие порции (навески) флюсов в атмосфере



Кинетика поглощения влаги сварочными флюсами: 1 — ОК 10.63; 2 — СФТ-6; 3 — Б1; 4 — АН-66; 5 — АН-22М; 6 — СФ-1; 7 — АН-67Б; 8 — АН-43; m — относительный прирост массы

с заданной относительной влажностью и определяя прирост их массы путем взвешивания до и после выдержки, как например в работе [4].

Перед испытанием агломерированный флюс ОК 10.63 прокаливали при температуре 300 °С, 2 ч (рекомендация производителя — фирмы ЭСАБ, Швеция). Плавленные флюсы АН-43, АН-67Б, АН-66 и синтетический СФ-1 прокаливали при 400 °С, 2 ч; флюсы АН-22М и СФТ-6 — при 570 °С, 2 ч (с учетом общих рекомендаций работы [5]). Непосредственно после прокалики и охлаждения до значения температур, близких к комнатным, производили начальное взвешивание навесок указанных флюсов массой 30...80 г. Затем навески помещали в атмосферу, создаваемую в плотно закрытом эксикаторе с водой на дне, и выдерживали при температуре 20...25 °С. Толщина слоя флюсов в навесках равнялась 12...15 мм. Размер гранул флюсов составлял 0,63...2,00 мм. В ходе эксперимента навески взвешивали с помощью аналитических весов и набора разновесов 4-го класса точности по ГОСТ 7328-61. Результаты испытания отражены на рисунке и табл. 2, где приведены значения основности, вычисленные по формуле МИС [6] с использованием средних массовых долей компонентов по данным соответствующих нормативных документов. Как следует из рисунка, гигроскопичность синтетического флюса СФТ-6 (кривая 2) за 744 ч выдержки лишь на 19 % ниже, чем агломерированного флюса ОК 10.63 (кривая 1).

Далее в штатную технологию изготовления высокоосновного синтетического флюса внесли следующие изменения: нагрев и охлаждение спекаемой шихты вместе с печью, повышение максимальной температуры спекания от 1050 до



1160 °С и длительности выдержки при максимальной температуре от 1 до 2 ч. Гигроскопичность высокоосновного синтетического флюса базового состава, спеченного по измененной технологии (табл. 2, флюс Б1, рисунок, кривая 3), оказалась в 2,2 раза ниже, чем у флюса СФТ-6. Однако и при этом гигроскопичность синтетического флюса остается существенно выше, чем у наиболее гигроскопичного из плавленных флюсов — пемзовидного марки АН-66. Гигроскопичность низкоосновного синтетического флюса СФ-1 соизмерима с гигроскопичностью плавленных флюсов.

Следует отметить, что определенные значения прироста массы навесок характеризуют общий (валовый) уровень поглощения флюсами влаги различных форм. В плавленных флюсах типа АН-348А доля влаги, сорбированная поверхностью зерен, микропор и удаляющаяся при температурах 20...200 °С, составляет всего 5 %. В интервале 20...600 °С удаляется 15 % общего количества влаги, которую следует относить, по-видимому, к сорбированной и цеолитной формам. Основное количество влаги удаляется из флюса при нагреве выше 800 °С и относится к химически связанной форме в виде гидроксильных групп [2]. Точное соотношение в распределении различных форм влаги, поглощенной синтетическими флюсами, может дать только применение специальных методов исследования. Тем не менее полагаем, что доля влаги, сорбированной поверхностью зерен и микропор синтетических флюсов, имеет тот же порядок, что и у плавленных. Учтем также, что появление в синтетическом флюсе цеолитов исключено из-за существенного отличия условий природного и промышленного их синтеза [7] от

условий спекания синтетических флюсов [1]. Следовательно, пренебрегая долей сорбированной влаги в виду ее малости, в дальнейшем считаем, что вся влага, поглощенная синтетическим флюсом, относится к химически связанной форме.

Таким образом, изменение компонентного состава и основности, отраженное в табл. 3, вызвало резкое (в 10...23 раза) повышение гигроскопичности синтетического флюса. Исходя из этих данных и с учетом указанных замечаний предположили, что такое изменение компонентного состава способствовало появлению в готовом флюсе склонных к гидратации химических соединений, которые и обусловили (подобно силикат-глыбе в агломерированных флюсах) повышение склонности флюса к поглощению влаги. В связи с этим представляло интерес исследование фазового состава флюса СФТ-6.

Фазовый рентгеноструктурный анализ флюса СФТ-6, выполненный с помощью дифрактометра «ДРОН-УМ1» в монохроматическом $\text{CuK}\alpha$ -излучении методом пошагового сканирования (ускоряющее напряжение 35 кВ, ток 25 мА), позволил выявить основные компоненты фазового состава флюса СФТ-6 — флюорит CaF_2 , алюмомагнезиальную шпинель $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, форстерит $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$, куспидин $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot\text{CaF}_2$ и свободный MgO . Флюс содержит также небольшие и следовые количества диопсида $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$, псевдоволластонита $\alpha\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$ и других соединений. Номенклатура основных компонентов в составе флюса СФ-1 (для которого ранее проводился аналогичный анализ [1]) не совпадает с приведенной и включает нефелин $\beta\text{-Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$, энс-

Таблица 3. Влияние компонентного состава, основности и параметров спекания синтетических флюсов на их гигроскопичность*

| Марка флюса | Массовая доля компонентов, % | | | | | | | | Особенности спекания | $V_{\text{мис}}$ | Гигроскопичность, мас. % |
|-------------|------------------------------|---------|----------|--------------|-----------|------------------|------------------------|--------|---|------------------|--------------------------|
| | Магнетит | Флюорит | Глинозем | Полевой шпат | Стеклобой | Руда марганцевая | Марганец металлический | Графит | | | |
| СФ-1 | 5 | 15 | 20 | — | 50 | 10 | — | — | Установка шихты в печь, нагретую до температуры 950 °С, выдержка при этой температуре 1 ч, охлаждение на воздухе | 0,8 | 0,29 |
| СФТ-6 | 31 | 26,25 | 16 | 23 | — | — | 1,75 | 2 | Установка шихты в печь, нагретую до температуры 1050 °С, выдержка при этой температуре 1 ч, охлаждение на воздухе | 2,4 | 6,8 |
| Б1 | 31 | 26,25 | 16 | 23 | — | — | 1,75 | 2 | Выдержка шихты при максимальной температуре 1160 °С в течение 2 ч, нагрев и охлаждение с печью | 2,4 | 3,08 |

* Сопоставлены значения гигроскопичности за 744 ч выдержки во влажной атмосфере.



титит $MgO \cdot SiO_2$, андалузит $Al_2O_3 \cdot SiO_2$, браунит $MnO \cdot SiO_2$, волластонит $\beta-CaO \cdot SiO_2$ и диопсид.

Попытаемся экспериментально определить, какие из химических соединений флюса СФТ-6 ответственны за его высокую гигроскопичность. С этой целью произведем спекание упрощенных модельных шихт, состоящих из фторида и оксидов. Последние выбраны во взаимном мольном соотношении, отвечающем известным минералам. Отношение массовой доли фторида к суммарной массовой доле оксидов в шихте составляло 2:3, что характерно для флюсов с большим содержанием CaF_2 . Предполагали, что при таких соотношениях и наличии необходимых термодинамических условий выход исследуемого соединения будет максимальным. В то же время удастся вос-

произвести все особенности твердофазных реакций между компонентами, которые обуславливает наличие большого количества CaF_2 . Компонентный состав шихт приведен в табл. 4. Использовали шихтовые материалы, приведенные в табл. 1.

Путем механического измельчения и просеивания из спеченных шихт получали гранулированный материал с тем же размером зерен, что и у ранее испытанных флюсов. Далее оценивали гигроскопичность полученных гранулированных продуктов с помощью указанного гравиметрического метода. Максимальная длительность выдержки во влажной атмосфере для всех навесок ограничивалась 336 ч. С учетом возможности существования во флюсах реальных составов непрореагировавших компонентов в свободном сос-

Таблица 4. Компонентный состав и гигроскопичность спеченных модельных шихт

| Марка шихты | Массовая доля компонентов, % | | | | | | | | m^* , мас. % |
|--|------------------------------|--------------|----------|----------|---------|--------------|-----------------|---------------------|----------------|
| | Флюорит | Оксид магния | Магнезит | Глинозем | Известь | Полевой шпат | Кварцевый песок | Другие компоненты | |
| <i>Базовый состав флюса СФТ-6</i> | | | | | | | | | |
| СФТ-6 | 26,25 | — | 31 | 16,0 | — | 23,0 | — | Графит 2,0; Mn 1,75 | 3,50 |
| Б1 | 26,25 | — | 31 | 16,0 | — | 23,0 | — | » | 2,05 |
| <i>Шихта состава флюорит + алюмомагнезиальная шпинель $MgO \cdot Al_2O_3$</i> | | | | | | | | | |
| ФШ | 41,0 | — | 18,0 | 41,0 | — | — | — | — | 0,22 |
| ФШ-1** | 36,9 | — | 16,2 | 36,9 | — | 10,0 | — | — | 0,21 |
| <i>Флюорит + форстерит ($2MgO \cdot SiO_2$)</i> | | | | | | | | | |
| ФФ | 39,77 | — | 35,28 | — | — | — | 24,95 | — | 0,50 |
| <i>Флюорит + диопсид ($CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$)</i> | | | | | | | | | |
| ФД | 39,0 | — | 12,0 | — | 17,0 | — | 32,0 | — | 0,47 |
| <i>Флюорит + волластонит ($CaO \cdot SiO_2$)</i> | | | | | | | | | |
| ФВ | 40,0 | — | — | — | 29 | — | 31,0 | — | 0,13 |
| <i>Куспидин ($3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot CaF_2$)</i> | | | | | | | | | |
| К | 21,3 | — | — | — | 45,9 | — | 32,8 | — | 0,17 |
| <i>Фторсиликаты с избытком и недостатком полевого шпата</i> | | | | | | | | | |
| ФС1 | 31,0 | — | — | — | — | 69,0 | — | — | 0,11 |
| ФС2 | 43,0 | 7,4 | — | — | — | 49,6 | — | — | 0,04 |
| <i>Флюорит + магнезит ($CaF_2 \cdot MgO$)</i> | | | | | | | | | |
| ФМ | 65,0 | — | 35 | — | — | — | — | — | 1,46 |
| <i>Шихтовые компоненты (известь, химически чистый MgO, глинозем, магнезит, флюорит, полевой шпат)</i> | | | | | | | | | |
| И | — | — | — | — | 100 | — | — | — | 30,10 |
| MgO | — | 100 | — | — | — | — | — | — | 2,60 |
| Г | — | — | — | 100 | — | — | — | — | 0,83 |
| М | — | — | 100 | — | — | — | — | — | 0,21 |
| Ф | 100 | — | — | — | — | — | — | — | 0,07 |
| ПШ | — | — | — | — | — | 100 | — | — | 0,04 |

* Относительный прирост массы навесок гранулированных продуктов за 336 ч выдержки во влажной атмосфере. ** Шихта с добавкой полевого шпата для улучшения спекаемости.

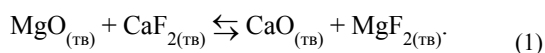


тоянии (например, MgO, CaF₂) определяли также гигроскопичность отдельных шихтовых компонентов после их термообработки по режиму спекания модельных шихт (максимальная температура 1125 °С; время нагрева до максимальной температуры 2 ч; длительность выдержки при максимальной температуре 2 ч; нагрев и охлаждение шихт с печью).

Относительный прирост массы навесок, характеризующий гигроскопичность спеченных продуктов, указан в табл. 4. Установлено, что гигроскопичность фаз флюса СФТ-6 не выходит за пределы диапазона от 0,07 для флюорита до 0,50 мас. % для спеченной смеси флюорит + форстерит. Отмечено, что гигроскопичность чистого MgO (оксид магния особочистый ТУ 6-09-2807-78) на порядок выше, чем обожженного магнетита. Однако даже если гипотетически принять, что весь магнетит в шихте флюса СФТ-6 был не только химически инертен во время спекания, но и получил свойства чистого MgO, то его вклад в прирост массы флюса составил бы 0,31·2,6 = 0,81 %, что существенно меньше фактически зафиксированной гигроскопичности флюса СФТ-6 при любых условиях спекания (2,0...3,5 мас. % за 336 ч). Из этих данных следовало, что увеличенная гигроскопичность синтетического флюса СФТ-6 не может быть объяснена суммарным вкладом основных его минеральных составляющих. Однако экспериментальные данные, полученные в работе [8], позволили предположить, что повышенная гигроскопичность флюса СФТ-6 создается вкладом свободной извести CaO в составе готового флюса.

Как показано в работе [8], при нагреве многокомпонентной шихты агломерированного флюса с преобладанием кислых оксидов свободная известь может являться промежуточным продуктом химических реакций между CaF₂, оксидами и силикат-глыбой с образованием и распадом сложных оксифторидов благодаря действию механизма анионного перераспределения между катионами кальция и магния. В дальнейшем появившаяся в таком флюсе известь расходуется на образование минерала анортита.

Если опустить возможные промежуточные реакции образования оксифторидов магния и кальция, то процесс образования извести можно представить более простой реакцией



Константа равновесия такой реакции может быть записана как

$$k_p = (a_{\text{CaO}} \cdot a_{\text{MgF}_2}) / (a_{\text{CaF}_2} \cdot a_{\text{MgO}}), \quad (2)$$

где *a* — активность веществ, указанных в индексах.

Применяя точный метод Л. П. Владимирова и справочные значения величин [9], можно рассчитать температурную зависимость константы равновесия этой реакции. С учетом формулы (2) полученные расчетом значения lg *k_p* от -3,027 до -2,414 при значениях температуры соответственно от 800 до 1127 °С свидетельствуют о появлении в системе MgO_(тв)-CaF_{2(тв)} после длительной ее выдержки при температуре 1125 °С нескольких процентов продуктов реакции (1). Указанная реакция имеет тенденцию интенсифицироваться с ростом температуры.

С целью проверки возможности образования свободной извести по реакции (1) была спечена модельная шихта, состоящая из MgO и CaF₂ в мольном соотношении 1:1. Гигроскопичность спеченного продукта составила 1,46 мас. % за 336 ч выдержки, что соответственно в 7 и в 21 раз выше, чем у магнетита и флюорита, спеченных по отдельности (табл. 3). Полученный результат свидетельствует о том, что в процессе спекания в системе MgO_(тв)-CaF_{2(тв)} появляется фаза, гигроскопичность которой намного выше, чем у исходных компонентов. Оценена также гигроскопичность извести после термообработки по режиму спекания модельных шихт, которая составила 30,1 мас. % за 336 ч выдержки в эксикаторе. Этот результат хорошо согласуется с теоретическим соотношением молярных масс негашеной (CaO) и гашеной (Ca(OH)₂) извести. Последняя больше первой на 32,12 %.

Учитывая аддитивность гигроскопичности *m_Σ* спеченного продукта системы MgO_(тв)-CaF_{2(тв)} от вкладов всех фаз этого продукта и допуская, что указанный спеченный продукт не содержит иных веществ, кроме исходных реагентов и продуктов реакции (1), можно приближенно оценить содержание в нем свободной извести. Для этого примем также, что гигроскопичность флюорита *m_ф* и фторида магния *m_{MgF₂}* равны. Совокупность магнетита, флюорита и MgF₂ в спеченном продукте рассмотрим как одно вещество, гигроскопичность *m₀* которого состоит из вкладов магнетита *m_М* и флюорита *m_ф*, принятых с учетом их массовых долей в исходной шихте

$$m_0 = 0,65m_{\phi} + 0,35m_M = \\ = 0,65 \cdot 0,07 + 0,35 \cdot 0,21 = 0,119 \%$$

Зная гигроскопичность извести *m_и*, ее массовую долю *x_и* в спеченном продукте системы MgO_(тв)-CaF_{2(тв)} легко определить путем решения следующего уравнения относительно *x_и*

$$m_{\Sigma} = x_{и} m_{и} + (1 - x_{и}) m_0. \quad (3)$$



Расчет по выражению (3) показал, что содержание свободной извести в спеченном продукте системы $MgO_{(ТВ)}-CaF_{2(ТВ)}$ составляет 4,47 мас. %.

Такие минералы, как алюмомагнезиальная шпинель $MgO \cdot Al_2O_3$, алюминаты кальция $CaO \cdot Al_2O_3$ и $CaO \cdot 2Al_2O_3$ и др. являются термодинамически весьма устойчивыми соединениями в широком температурном интервале. Поэтому их образование начинается при достижении достаточной диффузионной подвижности атомов исходных компонентов, что обеспечивается повышением температуры. В реальных условиях множество факторов (дефектность решетки, наличие примесей и конституционной влаги в компонентах, появление в солеоксидных системах жидких и газовых фаз) способствует минералообразованию, снижая температуру начала твердофазных реакций. Например, образование шпинели из компонентов промышленной чистоты и естественной влажности становится заметным уже при 700...800, форстерита — при 900 °C [10]. В силу этого в шихте спекаемого флюса, где основные оксиды и флюорит преобладают над кислыми оксидами, последние к моменту достижения оксидной системой максимальной температуры, вероятно, полностью или большей частью расходуются на образование комплексных оксидов и оксифторидов. Флюорит и магнезит, напротив, остаются в избытке. В этих условиях известь, образуемая по реакции (1), при температуре примерно 700...1100 °C, реагирует, например с Al_2O_3 , образуя алюминаты кальция. Однако после исчерпания свободного Al_2O_3 известь, появляющаяся во время выдержки при максимальной температуре, не может быть быстро связана в минералы.

Повышение температуры спекания и длительности выдержки при максимальной температуре заметно снижает гигроскопичность высокоосновного синтетического флюса (см. рисунок, табл. 1). Такую закономерность можно объяснить, вероятно, уменьшением содержания свободной извести вследствие процессов взаимного растворения компонентов при высоких температурах, а также реагирования CaO с первичными химическими соединениями с образованием более сложных вторичных минералов [10]. Однако скорость этих процессов, по-видимому, недостаточна для полного связывания извести, образованной по реакции (1). Следовательно, некоторое количество CaO остается в свободном виде, обуславливая повышенную гигроскопичность готового высокоос-

новного синтетического флюса системы $MgO-CaF_2-Al_2O_3-SiO_2$.

Выводы

1. Показано, что с возрастанием основности синтетического флюса от 0,8 до 2,4, что обеспечивается одновременным увеличением в его составе массовых долей магнезита и флюорита, гигроскопичность флюса возрастает в 10...23 раза и становится соизмеримой с гигроскопичностью агломерированных флюсов.

2. Определено, что причиной высокой гигроскопичности синтетических флюсов системы $MgO-CaF_2-Al_2O_3-SiO_2$ является наличие в их составе свободной извести, образующейся в результате химической реакции между CaF_2 и MgO , протекающей в системе $MgO-CaF_2-Al_2O_3-SiO_2$ при высоких (примерно 1100 °C) значениях температуры и отсутствии кислых оксидов в свободном виде, которые могли бы эффективно связывать известь в минералы.

3. Установлено, что путем повышения температуры спекания и длительности выдержки при этой температуре можно значительно снизить гигроскопичность высокоосновных синтетических флюсов. Вместе с тем гигроскопичность остается существенно выше, чем у плавящихся.

1. *Синтетические* сварочные флюсы, изготовление и области применения / Б. С. Касаткин, А. К. Царюк, Ю. Н. Вахнин и др. // Автомат. сварка. — 1994. — № 3. — С. 62–66.
2. *О форме* существования водорода в сварочных плавящихся флюсах / И. А. Гончаров, А. П. Пальцевич, В. С. Токарев и др. // Там же. — 2001. — № 4. — С. 28–32.
3. *ГОСТ 22974.14–90.* Флюсы сварочные плавящиеся. Метод определения содержания влаги. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 7 с.
4. *Кузьменко В. Г., Гузей В. И.* Гидратация флюсов с локально измененным химическим составом зерен // Автомат. сварка. — 2004. — № 4. — С. 44–46.
5. *Потанов Н. Н.* Основы выбора флюсов при сварке сталей. — М.: Машиностроение, 1979. — 168 с.
6. *Основность* расплавленных флюсов и возможность ее экспериментального определения / В. И. Галинич, В. Э. Сокольский, В. П. Казимиров, В. А. Шовский // Автомат. сварка. — 1991. — № 5. — С. 35–37.
7. *Еремин Н. И.* Неметаллические полезные ископаемые // <http://web.ru/db/msg.html?mid=1172887&uri=glava10.htm>.
8. *О фазовых* превращениях в агломерированном флюсе солеоксидной шлаковой системы при нагреве / В. Э. Сокольский, А. И. Роик, А. О. Давиденко и др. // Автомат. сварка. — 2010. — № 12. — С. 13–19.
9. *Владимиров Л. П.* Термодинамические расчеты равновесия металлургических реакций. — М.: Металлургия, 1970. — 528 с.
10. *Будников П. П., Гинстлинг А. М.* Реакции в смесях твердых веществ. — М.: Госстройиздат, 1965. — 476 с.

It was experimentally found that hygroscopicity of synthetic acid fluxes is at the same level as that of standard fused fluxes. Hygroscopicity of the synthetic fluxes grows not less than 10 times with increase in their basicity from 0.8 to 2.4. This probably is caused by the presence of a free lime, which forms in the synthetic flux as a result of the solid-phase reaction occurring between magnesium oxide and calcium fluoride in flux sintering. The thermodynamic calculation results and experimental data confirm the above assumption.

Поступила в редакцию 06.09.2011