

Л. А. Жунина, Ахмад Мумтаз Уахбе

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СОСТАВА СТЕКЛА ДЛЯ СИНТЕЗА ПЕТРОСИТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ГОРНЫХ ПОРОД СИРИИ

Для выбора оптимального состава стекла, пригодного для получения петроситалла [69, 289], мы исследовали три серии стекол: I—*бдс*, II—*дс*, III—*бс*, где *б* — базальт, *д* — диорит, *с* — серпентинит, представляющие собой наиболее распространенные горные породы Сирии.

Варка стекол проводилась в газовой печи при максимальной температуре 1500°C в течение 2 часов. Кристаллизация стекла происходила в градиенте температур 400—1200°C в течение 2 часов в электрической печи с программным устройством. Исследование фазового состава [233, 234] и структуры [162] производилось на наиболее полнокристаллических образцах, термообработанных при 880°C, 1000 и 1100°C в течение 2 часов.

Для изучения кристаллизации стекол были использованы современные методы анализа: дифференциально-термический, рентгенофазовый, петрографический, электронно-микроскопический, а также определение некоторых физико-химических свойств стекол и продуктов их кристаллизации [162].

Исследование технологических и некоторых физико-химических свойств стекол I серии *бдс* показало, что они удовлетворительно провариваются и осветляются при 1500°C в течение 2 часов, не агрессивны к огнеупору. Цвет стекол черный в результате повышенного содержания  $Fe_2O_3$  (11,4—12,7%). Плотность образцов находится в пределах 2,7—2,8 г/см<sup>3</sup>, микротвердость 650—670 кГ/мм<sup>2</sup>, температура размягчения стекол 1080—1100°C. Наибольшие значения плотности и микротвердости наблюдаются у состава 2 *бдс*.

Дифференциально-термический анализ (рис. 1) показал, что на всех термограммах составов I серии имеются слабые экзотермические эффекты при 318, 345 и 355°, которые, вероятно, связаны с началом выделения шпинелидов [290]. Экзоэффекты достаточно высокой степени интенсивности, соответствующие активному кристаллизационному процессу стекла, наблюдаются при 835, 860, 870°C. Экзоэффекты небольшой интенсивности указывают на выделение еще одной кристаллической фазы в небольшом ко-

личестве при 1080—1100°C. В процессе изучения фазового состава и структуры продуктов кристаллизации стекол I серии бдс установлено следующее. При 880°C образцы имеют тонкую кристаллическую структуру. Основная фаза — пироксен сложного состава на основе диопсида (2,99; 2,55; 1,62). Однако количество диопсидоподобной фазы уменьшается при повышении температу-

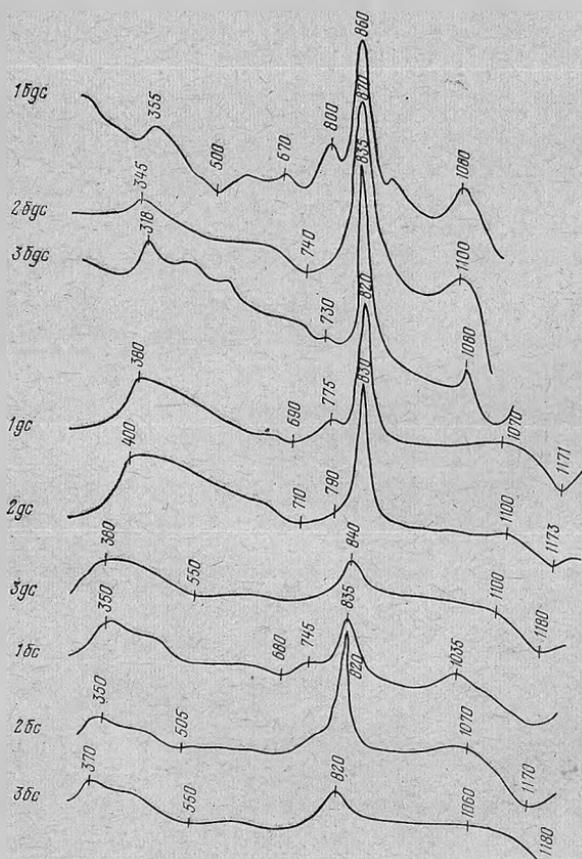


Рис. 1. Термограммы стекол серий I бдс, II дс, III бс.

ры до 1000°C. При 1000°C появляются линии, характерные для анортита и форстерита. На основе этих фаз возможно образование твердых растворов сложного состава [116, 233, 234, 252, 290, 291].

Из электронных микрофотографий (рис. 2) видно, что при 880°C образцы составов I серии бдс имеют однородную кристаллическую структуру с размерами кристаллов 0,20—0,25 мк. Наиболее однородной и плотной структурой обладает состав 2 бдс.

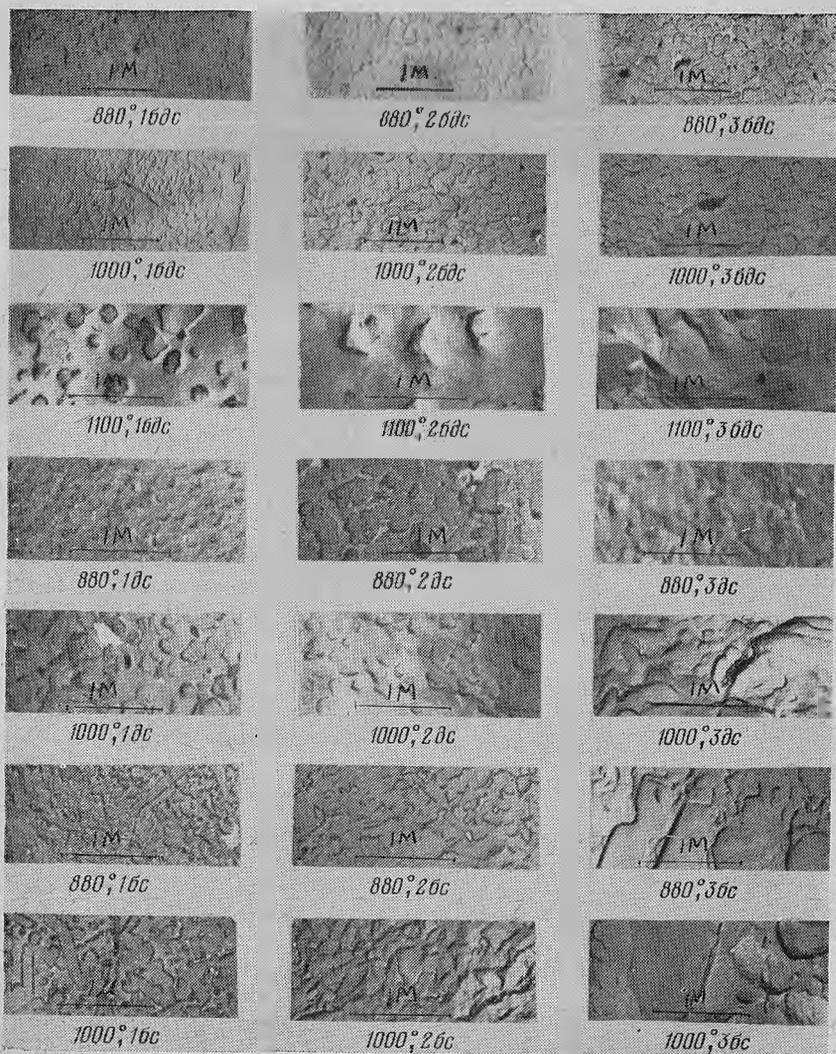


Рис. 2. Электронно-микроскопические снимки стекол серий I бдс, II дс, обработанных при 880, 1000, 1100°C в течение 2 часов.

Исследование технологических и некоторых физико-химических свойств стекол II серии *дс* показало, что эти стекла не агрессивны к огнеупору, освещаются и провариваются при 1500°C в течение 2 часов. Однако составы стекол II серии *дс* хуже формируются, чем составы I серии *бдс* в результате пониженного содержания щелочей (3,28 — 4,59% и 4,96—6,23% соответственно) и повышенного содержания MgO (14,63—20,68% и 11,63—13,82% соответственно). Плотность образцов II серии 2,7—2,97 г/см<sup>3</sup>, микротвердость 650—762,9 кг/мм<sup>2</sup>, температура деформации 1170—1180°C.

Из данных дифференциально-термического анализа (см. рис. 1) видно, что при 380—400°C также имеют место размытые экзоэффекты небольшой интенсивности, указывающие, вероятно, на выделение небольшого количества шпинелидной фазы [290]. При 820—840°C ярко выраженные экзотермические эффекты указывают на активное протекание кристаллизации стекол II серии *дс*.

В продуктах кристаллизации стекол II серии *дс* при 880°C имеется диопсидоподобная фаза сложного состава (2,99; 2,55; 1,67; 1,62) и форстеритовая фаза (3,89; 3,73; 2,99; 2,76; 2,51; 2,46; 2,26; 1,74; 1,479) при 1000°C основными кристаллическими фазами являются форстерит и анортит (4,05; 3,20; 2,93; 2,52; 2,11; 1,85; 1,479). Наибольшее количество диопсидоподобной (пироксеновой) фазы выделяется при 880°C. Мономинеральная фаза в продуктах кристаллизации стекол II серии *дс* не выделяется [233, 234].

Из электронных снимков (см. рис. 2) видно, что при 880°C образец 1 *дс* имеет неоднородности округлой формы размером 0,1—0,15 мк, у стекла 2 *дс* 0,25—0,3 мк, у стекла 3 *дс* 0,5 мк. Обработка стекол при 1000°C приводит к росту кристаллов; у состава 1 *дс* до 0,25—0,5 мк, у состава 2 *дс* до 0,5 мк, а у состава 3 *дс* до 0,75 мк.

По сравнению со структурой составов I серии *бдс* продукты кристаллизации стекол II серии *дс* более крупнокристалличны. Исследование технологических и некоторых физико-химических свойств стекол III серии *бс* показало, что эти стекла не агрессивны к огнеупору, при 1500°C в течение 2 часов провариваются и освещаются, цвет стекол черный. Отличительной особенностью стекол III серии *бс* является способность их к кристаллизации в процессе выработки и трудность формовки в результате небольшого содержания количества щелочей (2,75—3,67%) и повышенного содержания MgO (15,99—22,78%).

Плотность состава III серии *бс* 2,92—2,94 г/см<sup>3</sup>, микротвердость 650—670 кг/мм<sup>2</sup>. Температура деформации 1170—1180°C. По данным дифференциально-термического анализа стекла III серии *бс* обладают меньшей кристаллизационной способностью при температуре 820—835°C и 1035—1060°C (см. рис. 1), по сравнению с составами I *бдс*, и II *дс*, что подтверждается меньшей

интенсивностью всех экзоэффектов на термограммах стекол III серии *бс*. Однако низкотемпературный эффект остается достаточно интенсивным (см. рис. 1).

Рентгенограммы продуктов кристаллизации стекол III серии *бс*, полученные при 880°C и 1000°C, показывают наличие твердых растворов сложного состава, непрерывно изменяющихся под влиянием температурного фактора. При 880°C выделяется диопсидоподобная фаза (2,99; 2,54; 1,62) и также форстерит (3,89; 2,99; 2,77; 2,51; 2,46; 1,75). Продукты кристаллизации стекла при 880°C не деформируются. В продуктах кристаллизации стекол III серии, обработанных при 1000°C, преобладает форстеритовая фаза (3,88; 3,73; 2,98; 2,76; 2,51; 2,45; 2,27; 1,745; 1,479). Таким образом, в продуктах кристаллизации стекол III серии *бс* мономинеральная фаза не выделяется, а продукты кристаллизации представляют собой твердые растворы сложного состава [116, 233, 234, 252, 290, 291].

Из электронномикрофотографий продуктов кристаллизации стекол III серии *бс* (см. рис. 2) следует, что при 880°C структура их неоднородная, форма неоднородностей округлая, размеры 0,1—0,15 мк. Имеются также крупные образования прямоугольной конфигурации размером около 1 мк и более. Термообработка стекол при 1000°C приводит к образованию вторичной стеклофазы и росту размеров неоднородностей до 0,35—0,5 мк и более 1 мк.

Анализ результатов проведенных экспериментов позволил сделать следующие выводы.

Лучшими технологическими свойствами (варочными и выработочными) обладают составы I серии *бдс*, которые удовлетворительно провариваются и осветляются при 1500°C в течение 2 часов, а также способны удовлетворительно формоваться методами отливки, прокатки и прессования.

Физико-химические свойства стекол I, II и III серии (плотность, микротвердость, температура размягчения и др.) и продуктов их кристаллизации имеют близкие значения, но наблюдается некоторая тенденция к увеличению значений показателей свойств в ряду серий I *бдс* → II *дс* → III *бс* в результате соответственного уменьшения щелочей.

Сравнительное исследование структуры и фазового состава продуктов кристаллизации стекол I, II, III серий показало, что наиболее плотной, однородной и мелкокристаллической структурой мономинеральной (пироксеновой) фазы обладают составы I серии *бдс* и, в частности, состав 2 *бдс*.

С целью получения в продуктах кристаллизации стекол преобладающего количества диопсидоподобной (пироксеновой) фазы, которая является более химически устойчивой и прочной, чем форстеритоподобная (оливиновая) фаза [116, 252, 291], желательнее, чтобы концентрация MgO в составе стекла не превышала 11—13 вес. %, а содержание R<sub>2</sub>O находилось в пределах 5—6 вес. %.

Для синтеза петроситалла на основе изученных горных пород Сирии (базальта, диорита, серпентинита) может быть рекомендован состав 2 бдс I серии, обладающий удовлетворительными технологическими и физико-химическими свойствами, а также благодаря выделению в продуктах кристаллизации стекла мономинеральной диопсидоподобной (пироксеновой) фазы.

С целью максимального выделения мономинеральной пироксеновой фазы в продуктах кристаллизации стекла 2 бдс желательна температура термообработки выдерживать в интервале 880—900°C при длительности 2 часа.

Проведенное исследование показало, что на основе горных пород Сирии (базальта, диорита, серпентинита) могут быть получены петроситаллы.