

этой глины после обжига составила 8,13 %, следовательно, ее можно использовать в качестве огнеупорного материала.

Библиографический список

1. **Momade, F. W. Y.** Geochemical and mineralogical characteristics of lithomargic clay types from Awaso bauxite deposit, Ghana: implications for possible industrial utilization / F. W. Y. Momade, S. K. Y. Gawu // J. Sci. and Techn. — 2009. — Vol. 29, № 2. — P. 386–392.
2. **Andrews, A.** Development of fireclay aluminosilicate refractory from lithomargic clay deposits / A. Andrews, J. Adam, S. K. Y. Gawu // Ceramic International. — 2012. — Vol. 39. — P. 779–783.
3. **Andrews, A.** Synthesis optimization of fireclay refractories from lithomargic clay / A. Andrews, J. Adam, S. K. Y. Gawu, P. A. Olubambi // Ceramic Forum International. — 2013. — Vol. 90. — P. E1–E3.
4. **Walker, R. D.** Modern iron making methods / R. D. Walker. — London : Institute of Metals, 1986.
5. **Stam, G.** Thermo-mechanical modelling of mini pan with two brick types / G. Stam. — The Netherlands : Corus research and development, 1999.
6. **Swain, M. V.** Quasi-brittle behavior of ceramics and its relevance for thermal shock / M. V. Swain // Engineering Fracture Mechanics. — 1991. — Vol. 40, № 4/5. — P. 871–877.
7. **Muroh, Y.** The criterion of crack growth under thermal shock in sialon, in fracture mechanics of ceramics / Y.

Muroh, S. Arakawa ; eds. R. C. Bradt, D. P. H. Hasselman, D. Munz [et al.]. — New York : Plenum Press, 1996. — 495 p.

8. **Anderson, T.** Thermal cycling of indented ceramic materials / T. Anderson, D. J. Rowcliffe // J. of Europ. Ceram. Soc. — 1998. — Vol. 18. — P. 2065–2071.
9. **Bao, Y. W.** Thermal Shock Behaviour of Ti_3AlC_2 from between 200 °C and 1300 °C / Y. W. Bao, X. H. Wang, H. B. Zhang, Y. C. Zhou // J. of Europ. Ceram. Soc. — 2005. — Vol. 25. — P. 3367–3374.
10. **Monteiro, S. N.** The role of particle shape on the sintering of clay based ceramics / S. N. Monteiro, C. M. F. Viera // Materials Science Forum. — 2010. — Vol. 660–661. — P. 88–93.
11. **Bain, J. A.** A plasticity chart as an aid to the identification and assessment of industrial clays / J. A. Bain // Clay Minerals. — 1971. — Vol. 9. — P. 1–17.
12. **Shackelford, J. F.** Ceramics and glass materials / J. F. Shackelford, R. H. Doremus. — New York : Springer, 2008.
13. **Ntakaburimvo, N.** Influence of the firing temperature and mineralogy on the thermo-mechanical behavior of aluminosilicate refractory castables / N. Ntakaburimvo, C. Allaire, J. Sebbani // Canadian institute of mining (CIM) proceedings. — 2002 (Canada). ■

Получено 27.11.13

© Э. Эндрюс, С. К. Й. Гаву, М. Аппия,
А. Индоме, А. Фудзи, Дж. Абака, 2014 г.

Пер. — С. Н. Клявлиная
(ОАО «Комбинат «Магнезит»)

Д. т. н. **Е. И. Суздальцев, Е. В. Миронова** (✉)

ГНЦ РФ ОАО «Обнинское научно-производственное предприятие «Технология»,
г. Обнинск Калужской обл., Россия

УДК 666.968.9

ВЛИЯНИЕ ПЛОЩАДИ СКЛЕЙКИ НА ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ СДВИГЕ

Представлен анализ прочности образцов системы металл – герметик – керамика при сдвиге с различной площадью клеевого соединения.

Ключевые слова: прочность при сдвиге, площадь соединения, герметик.

ВВЕДЕНИЕ

Для паспортизации изделий, представляющих собой сборку керамической оболочки с металлическим шпангоутом посредством кремний-органического герметика типа Висксинт У-2-28НТ, проводят испытания склеек керамических призм с металлическими пластинами*, при этом площади

клеевых соединений в изделиях и контрольных образцах значительно различаются.

Если условно принять, что площадь клеевого соединения в изделии равна площади боковой поверхности цилиндра, а площадь клеевого соединения образца — это площадь прямоугольника с



Е. В. Миронова
E-mail: mironova_kv@mail.ru

* Суздальцев, Е. И. Влияние толщины клеевого шва и шероховатости металлической подложки на прочностные свойства клеевого соединения металл – керамика / Е. И. Суздальцев, Е. В. Миронова, П. Ю. Якушкин [и др.]. — М. : ООО «Наука и технологии» // Все материалы : энциклопедический справочник. — 2013. — № 8. — С. 50–58.

известными сторонами, то для различных изделий отношение данных площадей может составлять от 1/100 до 1/400.

При этом площадь боковой поверхности цилиндра вычисляется по формуле

$$S = 2\pi rh, \quad (1)$$

где r — радиус торца изделия, h — высота клеевого соединения.

Существенная разница в площадях ставит вопрос о соизмеримости величин прочности клеевого соединения системы металл – герметик – керамика в образцах для испытаний и в конкретных изделиях.

В связи с вышеизложенным целью данной работы стало определение влияния площади склейки на прочность клеевого соединения.

ХОД РАБОТЫ

Для исследования были изготовлены три партии металлических пластин размерами 20 × 60 (стандартные), 20 × 75 и 20 × 90 мм, а также три партии керамических призм размерами 20 × 15 (стандартные), 20 × 30 и 20 × 45 мм. Далее образцы из металла и керамики были склеены герметиком У-2-28НТ соответственно упоминанию размеров.

Испытания на прочность клеевого соединения при сдвиге проводили с использованием специальных приспособлений и разрывной машины Р-0,5. При этом нагрузка на образцы в каждой из партий была приложена вдоль клеевого соединения различной длины.

Перед испытаниями на образцах определили фактическую толщину клеевого шва по формуле

$$h_{\text{шва}} = h_{\text{сборки}} - h_{\text{кер}} - h_{\text{мет}}, \quad (2)$$

где $h_{\text{шва}}$, $h_{\text{сборки}}$, $h_{\text{кер}}$ и $h_{\text{мет}}$ — толщины клеевого шва, образца в сборке, керамического образца и металлического образца соответственно. Средняя толщина клеевого шва в каждой из партий составила от 0,30 до 0,42 мм.

Для вычисления площади клеевого соединения использовали формулу

$$S = (a_1 + a_2)/2 (b_{\text{кер}} + b_{\text{мет}} - B) \cdot 100, \quad (3)$$

где a_1 , a_2 — длина клеевого соединения; $b_{\text{кер}}$ и $b_{\text{мет}}$ — ширина керамического и металлического образца соответственно вблизи соединения; B — ширина склеенного образца. Для нестандартных образцов размеры $b_{\text{кер}}$, $b_{\text{мет}}$, B измеряли в двух точках и для вычисления площади использовали средние значения. Схема снятия замеров с образцов для определения площади склейки изображена на рис. 1.

Прочность клеевого соединения вычисляли по формуле

$$\tau_{\text{сдв}} = P/S, \quad (4)$$

где P — разрушающая нагрузка; S — площадь клеевого соединения. На первый взгляд, формула

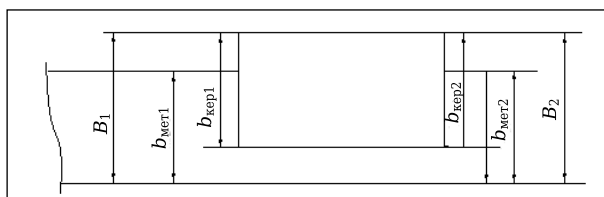


Рис. 1. Схема снятия линейных размеров образца для определения площади клеевого соединения

уже указывает на то, что значение прочности не должно зависеть от площади склейки.

При проведении измерений обнаружили, что в ряде образцов нестандартного размера можно наблюдать небольшие смещения и перекосы, что в общем на прочность значительного влияния не оказало. Все полученные результаты достаточно близки, коэффициент вариации не превышал 5 %.

На рис. 2 представлена зависимость разрушающей нагрузки от площади клеевого соединения, проявляющая нелинейный, непропорциональный характер. Зависимость прочности клеевого соединения также носит нелинейный характер (рис. 3).

Разрушения всех испытанных образцов независимо от площади клеевого соединения носили когезионный характер, т. е. разрушение произошло по герметику (рис. 4).

Внешние силы, действующие на клеевую сборку, вызывают возникновение адгезионных и когезионных напряжений. На рис. 5 изображено распределение нагрузки в клеевом соединении при разрывном способе разрушения. При воздействии перпендикулярно направленными силами сжатия или растяжения все клеевое соединение подвергается равномерной нагрузке. Нагрузка на сдвиг распре-

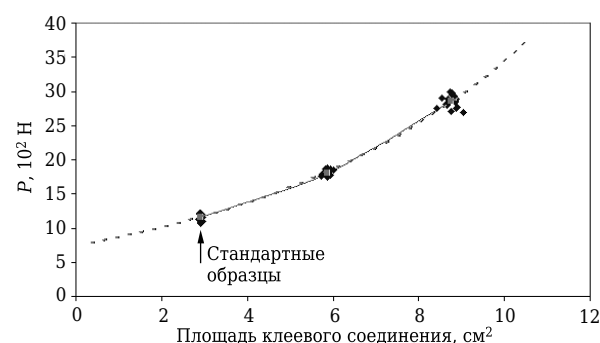


Рис. 2. Зависимость разрушающей нагрузки P от площади клеевого соединения

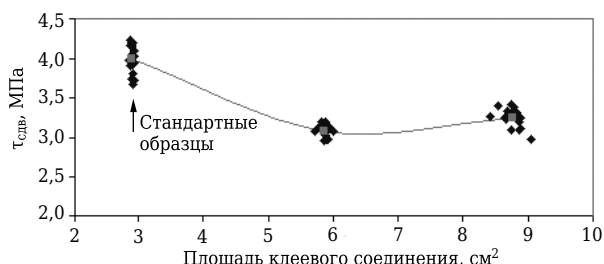


Рис. 3. Зависимость прочности клеевого соединения при сдвиге от его площади

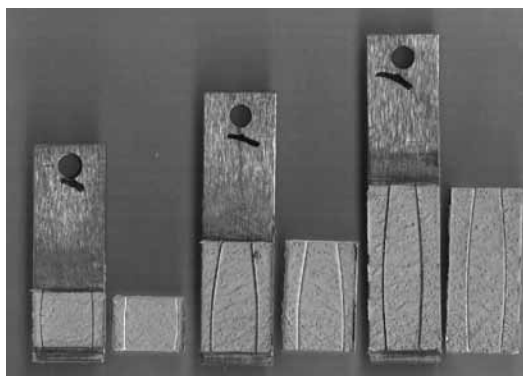


Рис. 4. Поверхность разрушения образцов после испытаний на сдвиг

деляется вдоль клеевого соединения неравномерно, что обычно влечет концентрацию напряжений на краях, в середине сборки нагрузка значительно меньше. В случае расщепляющей нагрузки высокая концентрация напряжений возникает вдоль узкой линии пограничного слоя клея.

Следовательно, увеличение длины соединения не ведет к пропорциональному его усилению в случае испытаний образцов на сдвиг. Кроме того, при склейке образцов для определения прочности клеевого соединения при сдвиге очень важно, чтобы образцы не имели перекосов и склеенные поверхности керамики и металла были параллельны друг другу. Толщина клеевого шва должна быть одинаковой по всей зоне склейки.

В условиях проведенного эксперимента при имеющихся технических возможностях достаточно трудно получить идеально склеенные образцы, поэтому практически полученное значение $\tau_{сдв}$ всегда отличается от теоретически возможного, заложенного в требованиях на изделия. При паспортизации изделий необходимо учитывать геометрию клеевого соединения, а также равномерность и параллельность прилагаемых к клеевому шву нагрузок. Но особенно важно определить, каким образом соотносится прочность клеевого соединения образцов и прочность клеевого соединения в изделиях с учетом разницы геометрических размеров и формы зон склеек.

Результат, получаемый при испытании образца на прочность клеевого соединения, дает сведения лишь об уровне прочности клеевого соединения именно этого образца, но не о прочности соединения в изделии в связи со значительными различиями в геометрии и форме клеевого шва. Образец-спутник, используемый для паспортизации изделий, может лишь свидетельствовать о самом себе и качестве подготовки герметика.

Неравномерное распределение компонентов герметика в объеме может отразиться на образцах в виде нескольких заниженных значений прочности при сдвиге, а в клеевом соединении изделия это может никак не проявиться, поскольку герметик при нанесении на керамическую

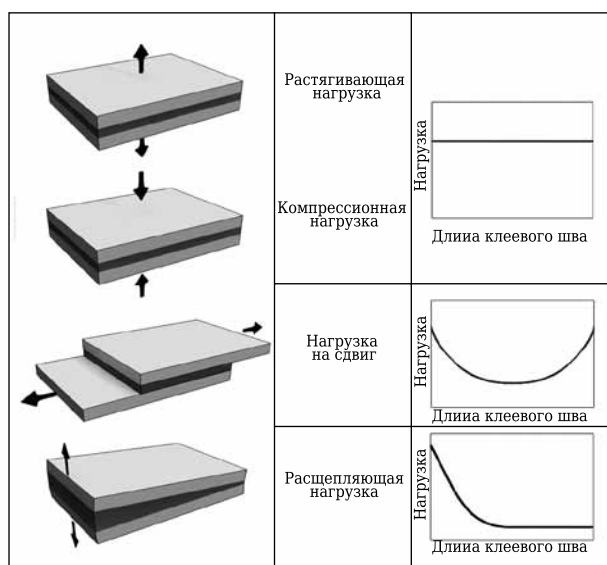


Рис. 5. Распределение нагрузки при различном типе разрушения клеевого соединения

оболочку и металлический шпангоут получит дополнительное усреднение и перераспределение компонентов. Если приготовление герметика выполнено по ошибочной рецептуре или качество используемого сырья низкое, может возникнуть ситуация, при которой клеевое соединение в изделии окажется непрочным, но при этом на образцах-спутниках это может не отразиться ввиду их малой площади и контакта достаточно большой краевой зоны с воздухом (например, из-за испарения каких-либо продуктов реакции).

Таким образом, для паспортизации изделий используемый метод приложен весьма условно, и возникает необходимость разработки неразрушающего метода контроля качества вулканизации герметика именно в клеевом шве самого изделия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прочность клеевого соединения нелинейно зависит от площади склейки, при этом в прочность клеевого соединения краевые напряжения вносят больший вклад, чем внутренние.

Прочность клеевого соединения существенно зависит от геометрии клеевого шва, что также необходимо учитывать при паспортизации изделий.

Для паспортизации осесимметричных изделий с различной площадью соединения используемый метод определения прочности клеевого соединения на плоских образцах с малой площадью склейки приложен весьма условно, в связи с чем требуется разработка неразрушающего метода контроля качества вулканизации герметика именно в клеевом шве самого изделия. ■

Получено 15.11.13

© Е. И. Суздальцев, Е. В. Миронова, 2014 г.