

УДК 666.9

**Термостойкие композиты на основе твердых силикатных связующих**

Шульга Т.Н., Кудлаш А.Н.

**Thermostable composites based on solid silicate binders**

Shulha T.N., Kudlash A.N.

Силикатные связующие нашли широкое применение в производстве жаростойких и огнеупорных бетонов, футеровок нагревательных печей, в качестве компонентов растворов для огнеупорной кладки. Весьма эффективно использование силикатных связующих в производстве кислотоупорных бетонов и растворов. Достаточно крупным потребителем указанного вида связующих является машиностроительное производство, где силикатные связующие применяются для изготовления форм и стержней, а также для точного литья по выплавляемым моделям [1]. Однако при применении составов на основе жидких силикатных связующих приходится сталкиваться с технологическими трудностями, обусловленными ограниченным сроком их использования [2, 3]. В связи с этим в последнее время в материаловедении становится актуальным поиск более эффективных способов изготовления композитов. Одним из таких направлений является использование технологии сухих строительных смесей, которая по сравнению с традиционными растворными смесями имеет ряд преимуществ: увеличение сроков хранения и использования смесей, повышение производительности труда, снижение материалоемкости работ [4, 5].

С целью усовершенствования технологии получения термостойких композиционных материалов (КМ) исследована возможность применения натриевого и калиевого твердых силикатных связующих (ТСС) для их изготовления. В качестве наполнителей КМ использованы оксиды:  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**Методика эксперимента**

Образцы термостойких КМ изготавливали путем тщательного перетирания наполнителя, модифицирующих добавок и связующего в сухом виде с последующим добавлением воды и тщательным перемешиванием затворенной смеси в ступке. Полученную однородную смесь просеивали и прессовали в форме цилиндров. После отверждения полученных КМ при комнатной температуре в течение 2-х суток проводили их термообработку.

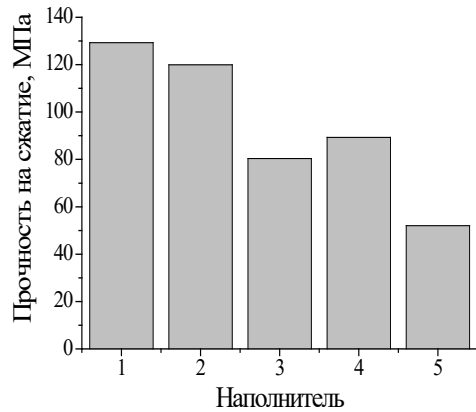
Термический анализ КМ проводили на термоанализаторе «NETZSCH STA 449C» при нагревании от 30 до 1000 °С со скоростью 10 °С/мин. Навеска образца составляла 10 мг.

Испытания на прочность при сжатии проводили на универсальной испытательной машине «Instron 1195» при силе нагружения 10, 20 кН со скоростью траверсы 5 мм/мин. Погрешность измерений составляла 1 %.

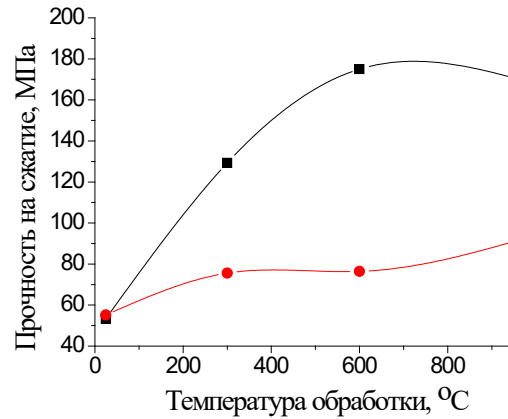
**Результаты и их обсуждение**

Результаты исследования прочностных свойств КМ, полученных на основе натриевого ТСС и различных наполнителей, приведены на рисунке 1. Перед испытаниями образцы композитов термообработывали при 300 °С. Полученные результаты показали, что наиболее эффективным наполнителем для изготовления силикатных КМ является корунд ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ).

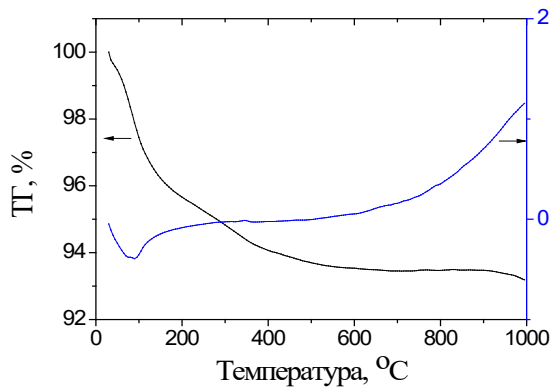
Изучены термическая устойчивость и прочностные характеристики композитов на основе  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и ТСС (натриевого и калиевого). Результаты испытания (рисунок 2) показали,



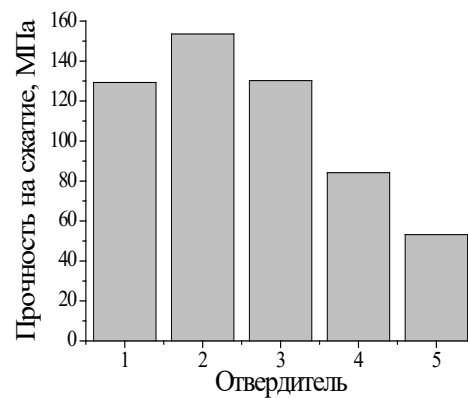
(1 –  $Al_2O_3$ ; 2 –  $TiO_2$ ; 3 –  $ZrO_2$ ; 4 –  $Fe_2O_3$ ; 5 –  $MgO$ )  
**Рис. 1.** Зависимость прочности на сжатие КМ от состава использованных наполнителей.



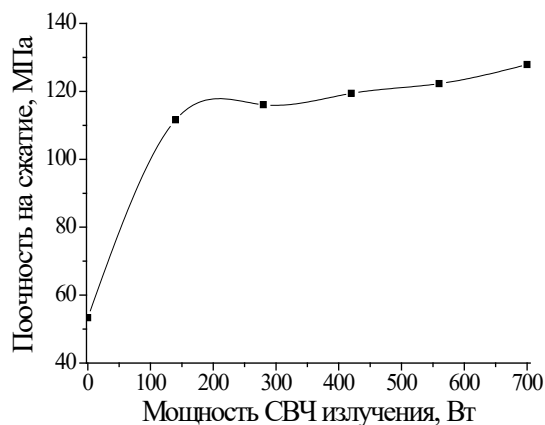
(1 – натриевое ТСС, 2 – калиевое ТСС)  
**Рис. 2.** Зависимость прочности на сжатие силикатных КМ от температуры обработки.



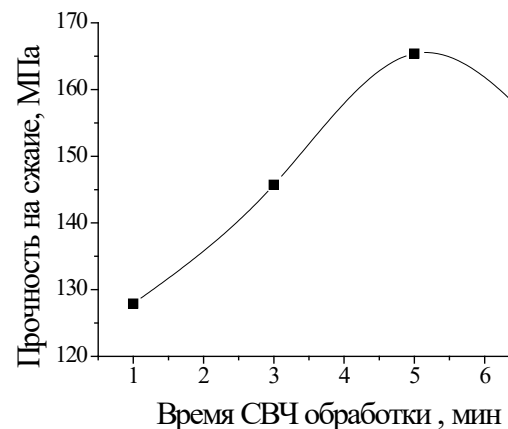
**Рис. 3.** Термограмма композита на основе  $Al_2O_3$  и натриевого твердое силикатное связующее.



**Рис. 4.** Зависимость прочности на сжатие КМ от типа использованных отвердителей.



**Рис. 5.** Зависимость прочности на сжатие КМ от мощности СВЧ обработки.



**Рис. 6.** Зависимость прочности композита от времени СВЧ обработки.

что термическая обработка композиционных материалов до 1000 °С приводит к последовательному увеличению в 3 раза прочности композитов на основе натриевого ТСС и в 1,5 раза композитов на основе калиевого. Экспериментально установлено, что прочность композитов на основе натриевого ТСС примерно в 2 раза превышает прочность материалов на основе калиевого ТСС. Поэтому для дальнейших исследований были выбраны составы КМ, полученные с использованием натриевого связующего.

Проведен термический анализ композита на основе  $Al_2O_3$  и натриевого ТСС. Термограмма данной композиции представлена на рисунке 3. Как видно из результатов анализа, основная потеря массы силикатного КМ происходит до 400 °С и составляет 6 масс. %. Данная потеря массы обусловлена удалением слабосвязанной воды, воды, образовавшейся за счет взаимодействия наполнителя и связующего и воды, образовавшейся в результате процессов поликонденсации связующего. Следует отметить относительно плавный ход как кривой потери массы, так и кривой ДСК. Фиксируется только незначительный эндозэффект с минимумом при 90 °С.

Исследовано влияние типа отвердителей на прочность полученных материалов. Результаты эксперимента приведены на рисунке 4. В качестве отвердителей были использованы гексафторосиликат натрия  $Na_2[SiF_6]$  (2), алюмосиликат магния  $3MgO \cdot 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  (3), силикат алюминия  $nAl_2O_3 \cdot mSiO_2$  (4) и кислый трифосфат алюминия  $H_2AlP_3O_{10} \cdot 2H_2O$  (5). Композиция без отвердителя обозначена (1).

Результаты испытания на сжатие силикатных КМ, полученных по технологии сухих строительных смесей, показали, что введение одних отвердителей не оказывает влияния на прочность термостойких композитов, а введение других – напротив, приводит к значительным потерям прочности на сжатие. Следовательно, применение указанной технологии

позволяет отказаться от использования отвердителей при производстве термостойких силикатных композиционных материалов.

Известно [6, 7], что весьма перспективным направлением спекания композиционных материалов является применение микроволнового излучения. В работе изучено влияние мощности и времени СВЧ обработки на механические свойства силикатных композиционных материалов. Результаты исследования представлены на рисунках 5 и 6.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что применение СВЧ излучения для спекания силикатных композитов позволяет получать материалы с высокими прочностными свойствами при значительном сокращении энергетических затрат и времени обработки образцов.

Таким образом, получены эффективные термостойкие композиционные материалы на основе  $Al_2O_3$  и натриевого ТСС. Изучено термическое поведение композитов при нагревании до 1000 °С, исследованы прочностные свойства силикатных материалов и факторы, влияющие на механическое поведение композитов. Показано, что предложенная методика получения термостойких КМ на основе ТСС позволяет изготавливать композиты с высокими прочностными характеристиками и их хорошей воспроизводимостью.

### Литература

1. Корнеев В.И. Растворимое и жидкое стекло / В.И. Корнеев, В.В. Данилов. – С.-П.: Стройиздат, 1996. – 2016 с.
2. Сычев М.М. Неорганические клеи / М.М. Сычев. – Л.: Химия, 1986. – 152 с.
3. Юхневский П.И. Строительные материалы и изделия / П.И. Юхневский, Г.Т. Широкий. – Мн.: Технопринт, 2004. – 473 с.
4. Большаков В.И. Строительное материаловедение / В.И. Большаков, Л.И. Дворкин. – Днепропетровск: Днепр-VAL, 2004. – 677 с.
5. Лапко К.Н. Применение твердых фосфатных связующих в качестве компонентов сухих строи-

тельных смесей для получения термостойких композиционных материалов / К.Н. Лапко, Н.С. Апанасевич, Т.Н. Шульга и др. // Международное аналитическое обозрение «Alitinform». № 2-3 (39). 2015. – С. 78-83.

6. Бикбулатов И.Х. Энергосберегающие и экологически чистые методы сушки технологических сред с использованием электромагнитного излучения СВЧ-диапазона / И.Х. Бикбулатов, Р.Р. Даминев, Э.Б. Шарипова и др. // Сб. тр. Междунар. науч. конф. «Химия и химические технологии – настоящее и будущее». Стерлитамак, 2000. – 226 с.

7. Рахманкулов Д.Л. Микроволновое излучение и интенсификация химических процессов / Д.Л. Рахманкулов, И.Х. Бикбулатов, Н.С. Шулаев и др. – М.: Химия, 2004. – 220 с.

### References

1. Korneev V.I. Rastvorimoe i zhidkoe steklo [Soluble and the water glass] / V.I. Korneev, V.V. Danilov. – S.-P.: Strojizdat, 1996. – 2016 p.

2. Sychev M.M. Neorganicheskie klei [Inorganic adhesives] / M.M. Sychev. – L.: Himija, 1986. – 152 p.

3. Juhnevskij P.I. Stroitel'nye materialy i izdelija [Building materials and products] / P.I. Juhnevskij, G.T. Shirokij. – Mn: Tehnoprnt, 2004. – 473 p.

4. Bolshakov V.I. Stroitelnoe materialovedenie [Construction materials technology] / V.I. Bolshakov,

L.I. Dvorkin. – Dnepropetrovsk: Dnepr-VAL, 2004. – 677 с.

5. Lapko K.N. Primenenie tverdyh fosfatnyh svjazujushhih v kachestve komponentov suhih stroitel'nyh smesej dlja poluchenija termostojkih kompozicionnyh materialov [The application of solid phosphate binders as components of dry mixes to produce heat-resistant composite materials] / K.N. Lapko, N.S. Apanasevich, T.N. Shul'ga // Mezhdunarodnoe analiticheskoe obozrenie «Alitinform» [International analytical review «Alitinform»]. № 2-3 (39). 2015. – P. 78-83.

6. Bikbulatov I.H. Jenergosberegajushhie i jekologicheski chistye metody sushki tehnologicheskikh sred s ispol'zovaniem jelektromagnitnogo izlucheniya SVCh-diapazona [Energy-saving and environmentally friendly methods of drying process fluids with electromagnetic radiation of the microwave] / I.H. Bikbulatov, R.R. Daminev, Je.B. Sharipovar. // proceedings of conference «Himija i himicheskie tehnologii – nastojashhee i budushhee» [Chemistry and chemical technology - present and future]. Sterlitamak, 2000. – 226 p.

7. Rahmankulov D.L. Mikrovolnovoe izluchenie i intensifikacija himicheskikh processov [Microwaves and intensification of chemical processes] / D.L. Rahmankulov, I.H. Bikbulatov, N.S. Shulaev. – M.: Himija, 2004. – 220 p.

**Статья поступила в редакцию 15 марта 2016 г.**

---

Шульга Татьяна Николаевна – магистрант, Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь. E-mail: Tamirlana@tut.by

Кудлаш Александр Николаевич – старший преподаватель кафедры общей химии и методики химии, Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь. E-mail: kudlash@bsu.by

---

Shulha Tatyana Nikolaevna – master student, Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: Tamirlana@tut.by

Kudlash Aleksandr Nikolaevich – senior teacher, Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: kudlash@bsu.by