

УДК. 666.266.6.01

**ГРАНУЛИРОВАННЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОБОЯ И  
ГЛИНЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА**

Д.А. Ткачев, Я.Ю. Верхошанский

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. С.Н. Кульков

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: d.tkachev11@gmail.com

**GRANULATED GLASS-CLAY COMPOSITE FOR USE IN THE HYDRAULIC FRACTION  
TECHNOLOGY**

D.A. Tkachev, Y.Y. Verkhoshanskiy

Scientific Supervisor: Prof., Dr. S.N. Kylkov

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: d.tkachev11@gmail.com

**Abstract.** *In the present study, glass-ceramic material used for hydraulic fracturing technology has been investigated. Density and compression strength depending on the initial composition and firing time have been examined. The resulting material is characterized by high compressional strength, with a low value of bulk density, which is provided by the internal closed porosity created by adding the gasifier.*

**Введение.** Расклинивающие агенты – пропанты, используются в технологии гидроразрыва пласта (ГРП), которая осуществляется при добыче углеводородов. Пропант представляет собой гранулы, которые закачиваются в пласт вместе с рабочей жидкостью под высоким давлением и предотвращают смыкание созданной трещины, тем самым увеличивая нефтеотдачу [1]. Материал для создания пропантов должен обеспечивать возможность получения гранул, обладающих одновременно низкой плотностью и высокими прочностными характеристиками, так как с увеличением глубины скважины, возрастают пластовые давления, и, соответственно, требования к прочности используемого расклинивающего агента.

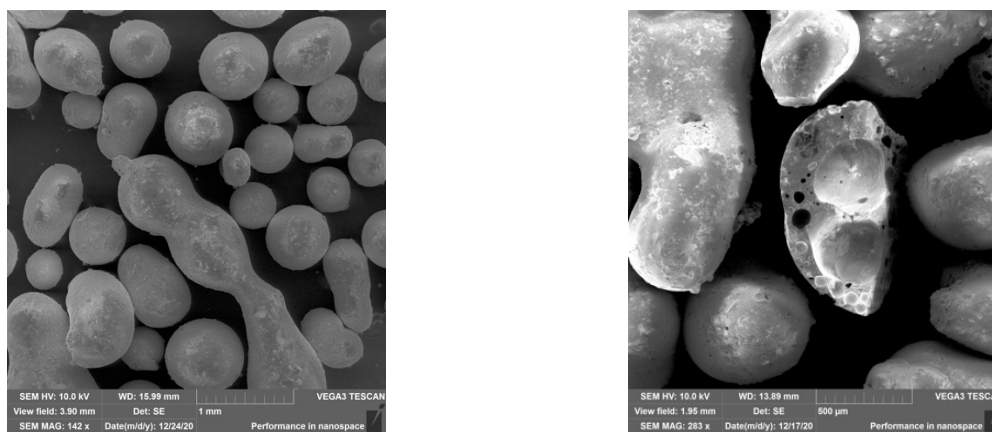
В настоящей работе предлагается использование доступного сырья: глины и стеклобоя, для создания нового класса пропантов, обладающих высокими технологическими характеристиками и низкой себестоимостью. В работе проведено исследование влияния процентного содержания пластификатора – глины, а также времени отжига гранул на их насыпную плотность и прочность.

**Материалы и методы.** В качестве исходного материала использовался состав на основе стеклобоя, глины, кокса и древесных опилок. Использовался бой оконного и тарного стекла, содержащий 60–72,5% SiO<sub>2</sub>, 4–6,0% CaO, 1,5–2,5% MgO, 12,5–15,0% Na<sub>2</sub>O, 1,2–1,57% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, глина содержала 70% SiO<sub>2</sub>, не менее 12% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%, до 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO и 1-2% органических примесей [2]. Предварительно проводилось измельчение стекла в шаровой мельнице до среднего размера частиц 7 мкм., размер частиц был определен по снимку методом случайных секущих. При плавлении глины вместе со стеклом образуется композиционный материал, свойства которого напрямую зависят от соотношения исходных

компонентов, кокс и древесные опилки выступают в роли порообразующих добавок, которые позволяют снизить плотность полученных гранул [3].

Из исходных материалов формировалась водная суспензия, которая затем гранулировалась путем протиранья через сито с номинальным размером ячейки 0,8 мм, гранулы подвергались обжигу при температуре 1050°C с различной выдержкой: в течении 8, 10, 12 и 14 минут. Для эффективного процесса газообразования, гранулы сразу вводились в предварительно разогретую до температуры обжига печь. Для исследования влияния пластификатора были подготовлены составы с содержанием глины в количестве 15, 20, 25 и 30 масс. %.

На рисунке 1 представлены снимки структуры гранул, полученные методом растровой электронной микроскопии.



*Рис. 1. Микроструктура гранулированного стеклокерамического композита: а.) структура поверхности целых гранул; б.) внутренняя структура разрушенной гранулы*

Видно, что гранулы имеют форму приближенную к сферической, также имеются гранулы сложной формы, образовавшиеся в результате коагуляции отдельных сферических частиц в ходе обжига. Внутренняя структура разрушенной гранулы (рисунок 1, б) представлена закрытыми порами, среди которых имеются как крупные полости размером 100 – 300 мкм, так и мелкие поры в оболочке, со средним размером 4,3 мкм, гистограмма распределения по размерам мелких пор представлена на рисунке 2, а.

После обжига определялась насыпная плотность и прочность гранул при одноосном сжатии. Исследования проводились для гранул диаметром от 0,4 до 0,8 мм, так как данная фракция составляла более 80% от полученного материала.

**Результаты и обсуждение.** Высокая прочность гранул, одновременно с низким значением насыпной плотности, обеспечивается путем формирования внутренней закрытой пористости с цельной внешней оболочкой, которая видна на снимках микроструктуры – рисунок 1. При этом, выявлено, что с повышением процентного содержания пластификатора, для формирования внешней оболочки требуется увеличение времени выдержки. Насыпная плотность полученных гранул варьируется в пределах от 0,8 до 1,22 г/см<sup>3</sup>. Низкая насыпная плотность характерна для образцов с минимальным временем выдержки в течении 8 мин. и максимальным содержанием глины в количестве 30 масс. %, однако для данных образцов характерно низкое значение прочности, ввиду отсутствия закрытой оболочки, которая формируется в результате плавления глины и стеклофазы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при увеличении

количества пластификатора для формирования остеклованной оболочки требуется большее время ввиду повышения вязкости расплавленной стеклокерамической фазы при обжиге.

Для гранул различного состава и времени выдержки исследована прочность при одноосном сжатии. На рисунке 2, б приводится график зависимости значения прочности гранул от длительности выдержки при различном содержании пластификатора.

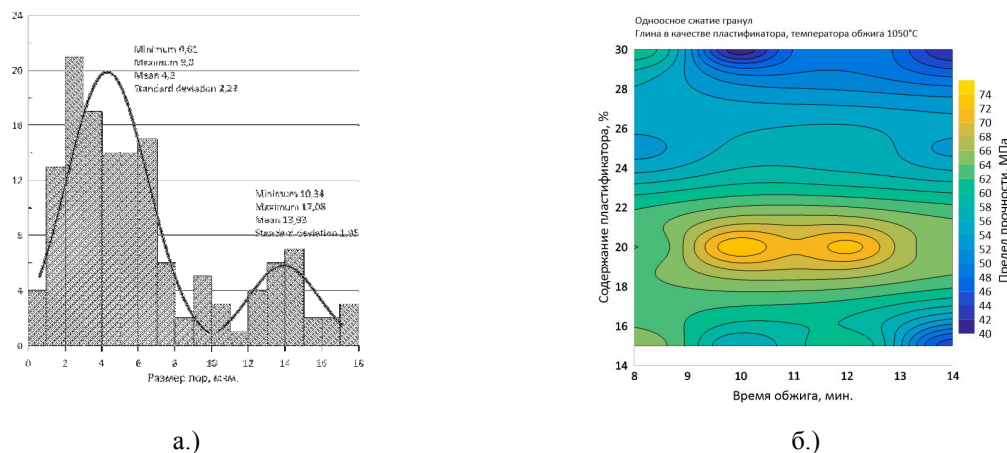


Рис. 2. а.) распределение внутренних пор по размеру; б.) прочность гранул с различным содержанием пластификатора в зависимости от времени обжига

Таким образом, предел прочности гранул при одноосном сжатии варьируется в пределах от 40 до 74 МПа. Максимальные значения достигаются при содержании пластификатора в количестве 20 масс. % и времени обжига от 10 до 12 мин.

**Закключение.** Получены результаты, описывающие гранулированный стеклокерамический материал на основе природного минерального сырья и техногенных отходов – стеклобоя. Исследованный гранулированный материал обладает внутренней закрытой пористостью с цельной внешней оболочкой. Внутренняя пористость обеспечивает низкую насыпную плотность, максимальное значение насыпной плотности составило  $1,22 \text{ г/см}^3$ . При этом, внешняя оболочка из глины и стеклофазы обеспечивает высокие значения прочности, максимальное значение прочности гранул из исследованного состава достигается при содержании пластификатора в количестве 20 масс. % и времени выдержки от 10 до 12 минут и составляет 74 МПа.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0005

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liang F. et al. A comprehensive review on proppant technologies // Petroleum. – 2016. – V. 2., №. 1. – С. 26-39.
2. Кудяков А.И., Апкарьян А.С. Гранулированный теплоизоляционный материал // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – №. 4. – С. 210-217.
3. Апкарьян А.С., Кульков С.Н., Христюков В.Г. Композиционный гранулированный теплоизоляционный стеклокерамический материал. Стеклокерамика: монография. – Томск: Изд-во Томск. Гос. Ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2019. – Ч. 1. – 230 с.