

Y12-04

Creating Samples of Porous Media of Glass Beads for Geophysical Modeling of Filtration Processes

E. Marfin, A. Abdrashitov, A. Galimzyanova

Summary

The paper presents the results of physical modeling of rocks in the form of synthetic porous media. The created samples were obtained by sintering microscopic glass beads in a muffle furnace. The effect of temperature on the sintering of glass beads of different sizes was studied. It was established experimentally that in the temperature range from 700 to 750 ° C, samples of porous media with a porosity of from 3 to 40% can be obtained.

Создание образцов пористых сред из стеклошариков для геофизического моделирования фильтрационных процессов

Е.А. Марфин* (ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН, КФУ), А.А. Абдрашитов (ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН),
А.Р. Галимзянова (ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН)

Введение

Знания о фильтрационно-емкостных свойствах горных пород, равно как и об изменениях их под воздействием различных физических полей, очень важны в решении геофизических задач. Особенно актуально это при разработке нефтяных и газовых месторождений. Так, например, известно, что воздействие на продуктивный пласт упругими колебаниями способствует увеличению добычи нефти [1-4]. Одним из основных механизмов такого эффекта является увеличение проницаемости пористой среды [5-6]. Причем, это явление носит сложный характер. На начальной стадии под действием упругих колебаний слабосцементированные частички породы освобождаются и вымываются фильтрующей жидкостью, увеличивая при этом пористость. Как правило, после прекращения акустического воздействия проницаемость снижается, но не до прежних значений, а на большее [6]. Последующее воздействие имеет динамический характер – проницаемость увеличивается во время воздействия и уменьшается после прекращения. Механизм этого явления пока не ясен.

При фильтрации жидкости или газа через пористую среду происходит генерации акустических шумов [7-9]. Многочисленные лабораторные и натурные эксперименты свидетельствуют о том, что спектры таких шумов для различных пористых сред отличаются. Подобные исследования легли в основу метода скважинной спектральной шумометрии [10]. Этот метод позволяет решать такие промысловые задачи, как: выявление заколонных перетоков; определение работающих интервалов продуктивных пластов; определение местоположения нарушений целостности насосно-компрессорных труб и скважин и др. Вместе с тем, исследования в этой области продолжаются, поскольку еще не установлены взаимосвязи между спектрами фильтрационных шумов и характеристиками пористых сред. Основными объектами исследований при этом являются образцы пористых сред, полученные из зернового материала, а также искусственно созданные образцы из песка и цементирующего вещества.

Для физического моделирования фильтрационных процессов часто используют микромоделли, полученные из стекла. Одни модели создают методом травления стекла [11, 12], другие с использованием микроскопических стеклянных шариков [13-18]. Получаемые модели используют для изучения двухфазной фильтрации [19], вытеснения тяжелой нефти различными реагентами [20] и других явлений. Целью настоящей работы является разработка методики создания образцов пористых сред с заданными фильтрационными свойствами. При этом они должны обладать определенными прочностными характеристиками для изучения различных режимов физического воздействия на них, в том числе и современным методом рентгеновской микротомографией для последующей компьютерной симуляции процесса фильтрации [21].

Метод

Для создания образцов пористых сред был использован метод спекания стеклянных шариков в муфельной печи. Исходным материалом были микростеклошарики, используемые для разметки дорог по ГОСТ 32848-2014. На первом подготовительном этапе микростеклошарики были разделены по размеру на несколько групп. Для этого использовались калиброванные сита. Процесс разделения проводился на вибрационной платформе. Исходный материал имел распределение по диаметру от 50 мкм до 800 мкм с максимальным количеством в диапазоне от 250-400 мкм. Для создания образцов были выбраны три группы с размерами 0,25-0,28 мм, 0,28-0,4 мм и 0,4-0,5 мм. Насыпная плотность микростеклошариков составила 1,471, 1,486 и 1,501

г/см³ для каждой группы соответственно. Пористость насыпки составила 41,17%, 40,57% и 39,97% соответственно.

Формой для спекания служили отрезки стальных труб внутренним диаметром около 22 и 28 мм, длиной соответственно около 30 и 40 мм соответственно. Заполненные микростеклошариками примерно на 4/5 внутреннего объема формы помещались в середину муфельной печи ПМЛС-2/1200. Затем на печи задавалась необходимая температура, и осуществлялся процесс спекания. На рисунке 1 представлен график изменения температуры во времени в печи при установленном значении 700 °С. Нагрев до заданной температуры осуществлялся примерно за 50 минут, после чего при этой температуре выдерживался в течение 5-10 минут и отключался нагрев печи. Процесс остывания был более длительным, чтобы исключить внутренние повреждения за счет резкого охлаждения.



Рисунок 1. Температурный режим работы муфельной печи

После спекания и охлаждения измерялся объем полученных пористых образцов, и определялась их пористость. Всего было создано 10 образцов с различным фракционным составом исходного материала. Помимо спекания образцов в цилиндрической стальной оболочке контролировался процесс спекания насыпанных стеклошариков на стеклянной пластине для последующего анализа под микроскопом.

Результаты

После разделения на фракции исходные микростеклошарики были исследованы на микроскопе. На рисунке 2 (а) видно, что большая часть исходного материала имеет правильную сферическую форму. При нагреве до температуры 720 °С начинается заметный процесс спекания в местах контакта соседних шариков (рис.2б). При увеличении температуры (рис. 2в) размер области контакта соседних стеклошариков увеличивается и при температуре 750 °С этот размер становится сопоставим с исходным размером стеклошариков.

На первом этапе экспериментальных исследований для установления границ была установлена температура 780 °С. Такая температура привела практически к полному расплавлению стеклошариков с образованием однородной стеклянной массы с пористостью менее 1%. При температуре 700 °С созданные пористые образцы имели значение пористости около 40%. Полученный образец, хоть и имел цилиндрическую форму, но при незначительном механическом воздействии легко подвергался разрушению. Таким образом, был установлен температурный диапазон, в котором можно создавать пористые среды с необходимыми фильтрационными свойствами.

Расчет значение пористости осуществлялось по измерению объема созданных пористых образцов и их массы, учитывая, что плотность стекла, из которых созданы стеклошарики, составляет 2,5 г/см³.

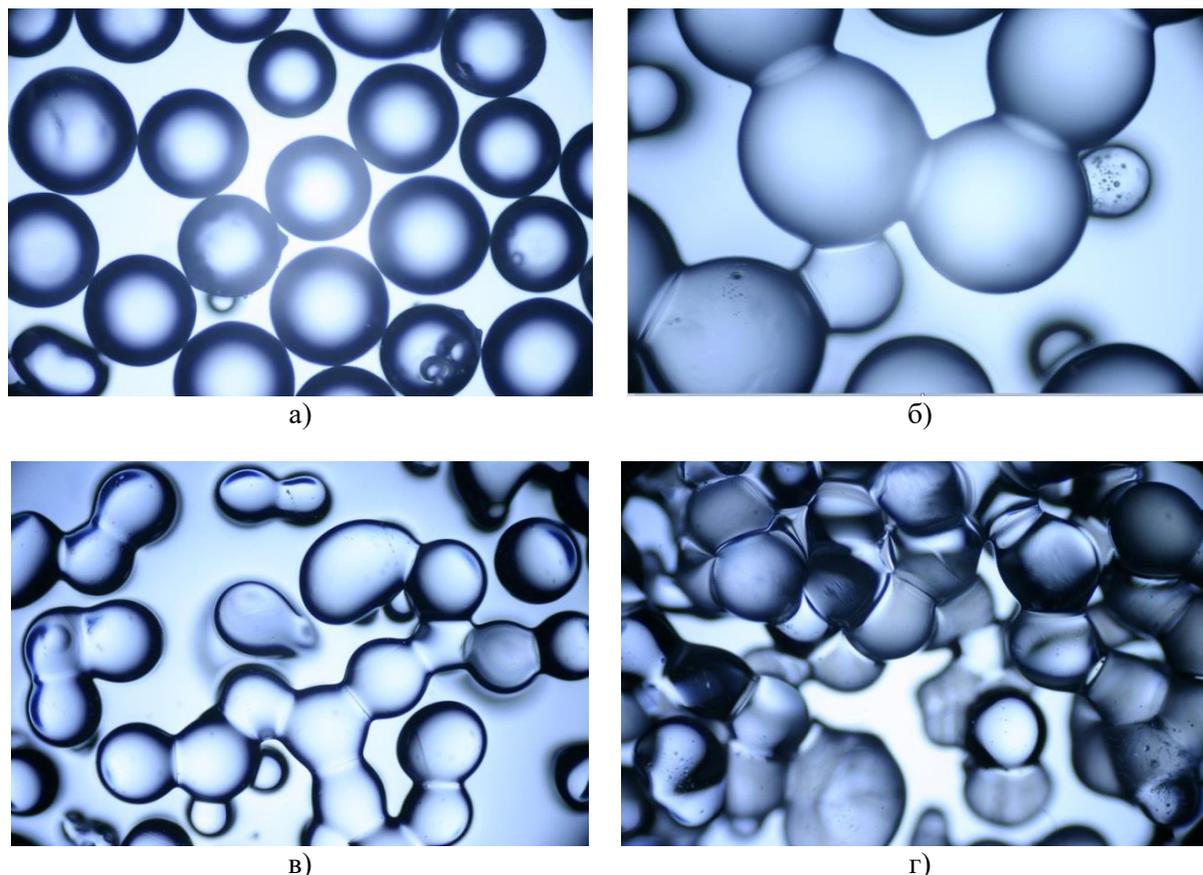


Рисунок 2. Микросъемка стеклошариков до спекания (а) и после спекания при различных температурах: (б) – 720 °С, (в) – 740 °С, (г) – 750 °С.

На рисунке 3 представлены данные о пористости созданных пористых образцов при различных температурах спекания. Необходимо отметить, что в данном случае речь идет о полной пористости, которая включает в себя открытую и закрытую пористость. Для оценки открытой пористости, равно как и для измерения проницаемости создаваемых пористых образцов, запланированы дополнительные экспериментальные исследования, включающие измерения спектров фильтрационных шумов. Результаты этих экспериментов будут представлены в виде доклада на конференции.

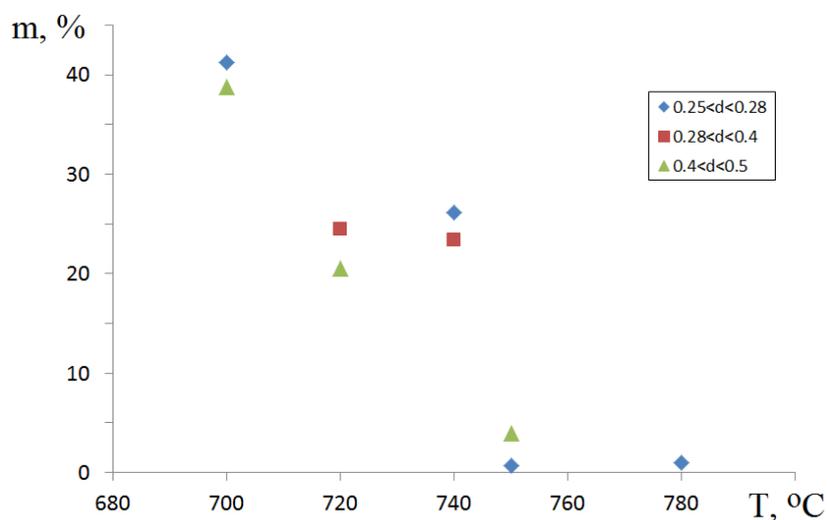


Рисунок 3. Пористость синтетических образцов при различных температурах спекания.

Из представленных на рис.3 данных видно, что пористые образцы, состоящие из крупных стеклошариков (0,4-0,5 мм), имеют выраженную зависимость пористости от температуры спекания. Образцы с меньшим размером зерен при температурах 720-740 °С имеют пористость около 25%, которая резко снижается при увеличении температуры. Таким образом, для создания пористых образцов, фильтрационные свойства которых близки к реальным кернам, процесс спекания необходимо осуществлять в температурном диапазоне от 720 до 760 °С. Кроме того, необходимо также исследовать влияние времени выдержки при максимальной температуре на фильтрационные свойства создаваемых пористых образцов.

Выводы

В работе разработан метод создания синтетических пористых сред. Создаваемые образцы получены путем спекания микроскопических стеклянных шариков в муфельной печи. Исследовано влияние температуры на спекание стеклянных шариков разных размеров. Экспериментально установлено, что в диапазоне температур от 700 до 750 °С можно получить образцы пористых сред с пористостью от 3 до 40%.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№16-29-15118, 18-08-01047) и Правительства Республики Татарстан (грант 18-48-160001).

Библиография / References

1. Galimzyanova, A.R., Gataullin, R.N., Marfin, E.A. and Fasfiev, B.R. [2018] The inflow of liquid to a horizontal well with acoustic impact on the formation. *Engineering and Mining Geophysics 2018 - 14th Conference and Exhibition*.
2. Kuznetsov, O.L., Simkin, E.M., Chilingar, G.V., Gorfunkel, M.V. and Robertson Jr., J.O. [2002]. Seismic techniques of enhanced oil recovery: Experimental and field results. *Energy Sources*, **24** (9), 877-890.
3. Marfin, E.A. and Abdrashitov, A.A. [2014] Extraction of heavy oil at thermal-wave impact on the producing formation. *6th Saint Petersburg International Conference and Exhibition on Geosciences 2014: Investing in the Future*, 607-611.
4. Marfin, E.A., Kravtsov, Y.I., Abdrashitov, A.A. and Metelev, I.S. [2015] Intensification of oil production under vibration impact on the producing formation. *Geomodel 2015 - 17th Scientific-Practical Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development*, 116-120.
5. Manga, M., Beresnev, I., Brodsky, E.E., Elkhout, J.E., Elsworth, D., Ingebritsen, S.E., Mays, D.C. and Wang, C.-Y. [2012]. Changes in permeability caused by transient stresses: Field observations, experiments, and mechanisms. *Reviews of Geophysics*, **50** (2), RG2004.
6. Mardegalyamov, M.M., Marfin, E.A. and Vetoshko, R.A. [2018] Change in permeability of a porous medium at ultrasonic action. *Saint Petersburg 2018: Innovations in Geosciences & Time for Breakthrough*, 44532.
7. Marfin, E.A., Abdrashitov, A.A., Metelev, I.S. and Kirpichnikova, T.A. [2017] Spectral characteristics of acoustic emission in porous media. *Engineering Geophysics 2017*.
8. Meletev, I.S., Marfin, E.A. and Gaifutdinov, R.R. [2016] The use of spectral sound meter in the study of the physical properties of oil and gas reservoirs. *12th Conference and Exhibition Engineering Geophysics 2016*, 359-366.
9. Sergeev, S., Ryzhikov, N. and Mikhailov, D. [2019] Laboratory investigation of sound induced by gas flow in porous media. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **172**, 654-661.

10. Maslennikova, Y.S., Bochkarev, V.V., Savinkov A.V. and Davydov, D.A. [2012]. Spectral Noise Logging Data Processing Technology. *Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition*.
11. Wan, J., Tokunaga, T.K., Tsang, C.-F. and Bodvarsson, G.S. [1996] Improved glass micromodel methods for studies of flow and transport in fractured porous media. *Water Resources Research*, **32** (7), 1955-1964.
12. Yoon, J.S., Germaine, J.T. and Culligan, P.J. [2006] Visualization of particle behavior within a porous medium: Mechanisms for particle filtration and retardation during downward transport. *Water Resources Research*, **42** (6), W06417.
13. Bernabe, Y., Brace, W.F. and Evans, B. [1982] Permeability, porosity and pore geometry of hot-pressed calcite. *Mechanics of Materials*, **1** (3), 173-183.
14. Bosl, W.J., Dvorkin, J. and Nur, A. [1998] A study of porosity and permeability using a lattice Boltzmann simulation. *Geophysical Research Letters*, **25** (9), 1475-1478.
15. Corapcioglu, M.Y. and Fedirchuk, P. [1999] Glass bead micromodel study of solute transport. *Journal of Contaminant Hydrology*, **36** (3-4), 209-230.
16. Conn, C.A., Ma, K., Hirasaki, G.J. and Biswal, S.L. [2014] Visualizing oil displacement with foam in a microfluidic device with permeability contrast. *Lab on a Chip*, **14** (20), 3968-3977.
17. Dawe, R.A., Caruana, A. and Grattoni, C.A. [2011] Immiscible Displacement in Cross-Bedded Heterogeneous Porous Media. *Transport in Porous Media*, **87** (1), 335-353.
18. Mavko, G. and Nur, A. [1997] The effect of a percolation threshold in the Kozeny-Carman relation. *Geophysics*, **62** (5), 1480-1482.
19. Avraam, D.G., Kolonis, G.B., Roumeliotis, T.C., Constantinides, G.N. and Payatakes, A.C. [1994] Steady-state two-phase flow through planar and nonplanar model porous media. *Transport in Porous Media*, **16** (1), 75-101.
20. Sedaghat, M., Mohammadzadeh, O., Kord, S. and Chatzis, I. [2016] Heavy oil recovery using ASP flooding: A pore-level experimental study in fractured five-spot micromodels. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, **94** (4), 779-791.
21. Marfin, E.A., Chachkov, D.V. and Abdrashitov, A.A. [2017] X-ray microtomography core and numerical simulation of fluid flow in the pore space. *Engineering Geophysics 2017*.