

March 2019

Influence of the air flow on the heat of combustion purified melted sulfur

Kholmuminov Abdulfatto

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, a.kholmuminov@mail.ru

Sherniyozov Bobur

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, physics@nuuz.uz.sci.net

Khodzhaeva Nasiba

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, as.Nasiba@mail.ru

Akhadov Alisher

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, a.ahadov@mail.ru

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/cce>

Recommended Citation

Abdulfatto, Kholmuminov; Bobur, Sherniyozov; Nasiba, Khodzhaeva; and Alisher, Akhadov (2019) "Influence of the air flow on the heat of combustion purified melted sulfur," *Chemistry and Chemical Engineering*: Vol. 2019 , Article 12.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/cce/vol2019/iss1/12>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Chemistry and Chemical Engineering by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact brownman91@mail.ru.

INFLUENCE OF THE AIR FLOW ON THE HEAT OF COMBUSTION PURIFIED MELTED SULFUR

Abdulfatto KHOLMUMINOV (a.kholmuminov@mail.ru), Bobur SHERNIYOZOV (physics@nuuz.uz.sci.net), Nasiba KHODJAEVA (as.Nasiba@mail.ru), Alisher AKHADOV (a.ahadov@mail.ru), Sirojiddin SHAKHOBITDINOV (sirojiddin_55@mail.ru)
 National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

A sample of sulfur had extracted from sulfur-containing oil and gas processing wastes by washing in water and acetone, dissolved in toluene and appreciated the purity by UV spectroscopy method. Sulfur burning is carried out on the surface of a micro-mesh substrate that covers the bottom of a glass cylinder connected on top of a water-jet pump to generate air flow. The transparency of the cylinder wall made it possible to visually observe the process of melting and burning sulfur at various pressures of air flow. It was revealed that up to 4-fold increase in air pressure there is a directly proportional increase in the heat of combustion of sulfur. A further increase in the pressure of the flow is accompanied by drawing a certain part of the heat outside the cylindrical cell.

Keywords: sulfur, excretion, melting, burning, heat, combustion, air flow.

ВЛИЯНИЕ ПОТОКА ВОЗДУХА НА ТЕПЛОТУ СГОРАНИЯ ОЧИЩЕННОЙ РАСПЛАВЛЕННОЙ СЕРЫ

Абдулфатто Ахатович ХОЛМУМИНОВ (a.kholmuminov@mail.ru), Бобур Шомурод угли ШЕРНИЁЗОВ (physics@nuuz.uz.sci.net), Насиба Кутбиддиновна ХОДЖАЕВА (as.Nasiba@mail.ru), Алишер Абдулфатто угли АХАДОВ (a.ahadov@mail.ru), Сирожиддин Шамсутдинович ШАХОБИДДИНОВ (sirojiddin_55@mail.ru)
 Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

Образец серы выделен из серосодержащих отходов нефтегазопереработки путем промывания в воде и ацетоне, растворен в толуоле и оценена очищенность методом УФ спектроскопии. Горение серы осуществлено на поверхности микро-сетчатой подложки, закрывающей снизу стеклянный цилиндр, подключенный сверху к водоструйному насосу для генерации потока воздуха. Прозрачность стенки цилиндра позволяла осуществлению визуального наблюдения процессов расплавления и сгорания серы при различных давлениях потока воздуха. Выявлено, что до 4-кратного повышения давления серы происходит прямопропорциональное увеличение теплоты сгорания серы. Дальнейшее повышение давления потока сопровождается вытяжкой определенной части теплоты наружу цилиндрической ячейки.

Ключевые слова: сера, выделение, плавление, горение, теплота, сгорания, поток воздуха.

TOZALANGAN SUYUQLANGAN OLTINGUGURT YONISH ISSIQLIGIGA HAVO OQIMINING TA'SIRI

Abdulfatto Axatovich KHOLMUMINOV (a.kholmuminov@mail.ru), Bobur Shomurod o'g'li SHERNIYOZOV (physics@nuuz.uz.sci.net), Nasiba Qutbiddinova KHODJAEVA (as.Nasiba@mail.ru), Alisher Abdulfatto o'g'li AKHADOV (a.ahadov@mail.ru), Sirojiddin Shamsutdinovich SHAKHOBITDINOV (sirojiddin_55@mail.ru)
 O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Oltinugurt tutgan neftegazning qayta ishlash chiqindisini suv va atsetonda yuvish orqali oltinugurt namunasi ajratib olingan, toluolda eritilgan va UB spektroskopiya usulida tozalanganligi baholangan. Oltinugurtning yonishi yuqorisidan havo oqimini hosil qiluvchi suv nasosiga ulangan va pastidan mikro to'rtli taglik sirtida shisha silindr ichida amalga oshirilgan. Silindr devorini shaffofligi oltinugurtning suyuqlanishi va yonishini turlicha havo oqimi bosimida kuzatishga imkon bergan. Havo bosimini 4 marta oshishiga qadar oltinugurtning yonish issiqligini ajralib chiqishi to'g'ri proporsional tarzda ortib borishi aniqlangan. Havo bosimini yanada oshib borishi ajralib chiqayotgan issiqlikning ma'lum qismini silindr yacheykadan tashqariga surilishishi amalga oshadi.

Kalit so'zlar: oltinugurt, evolyutsiya, eritish, yonish, issiqlik, yonish, havo oqimi.

Введение

Известно, что сера является потенциальным источником для выделения теплоты сгорания и сырьем для производства серосодержащих соединений типа меркаптана (HS), сероводорода (H₂S), дисульфида (S-S), оксида серы (SO₂) и т.п. Горение серы (S) в воздухе (O₂+ 3,76N₂) осуществляется по химической реакции S + (O₂+3,76N₂) = SO₂ + 3,76N₂ с выделением большого количества теплоты [1-4]. Например, при горении 1 кг серы в нормальных условиях израсходуется 3,332 м³ воздуха, синтезируется 0,7 м³ SO₂, выделяется около 10000 кДж теплоты и температура повышается до 1400°C [5-7].

Очевидно, показатели горения зависят от чистоты, массы и фазового состояния серы, а также от давления воздуха. В целом, освоение теплоты сгорания (Q) серы представляет большой научный и практический интерес, поскольку имеется огромное количество серосодержащих отходов, образованных при переработке местного нефтегазового сырья, например, Мубарекского газоперерабатывающего произ-

водства. Утилизация таких отходов с получением тепловой энергии сгорания серы, безусловно, является весьма актуальной научно-технической задачей [8-10].

Решение данной задачи возможно проведением исследований по выделению серы из отходов в виде горючего материала и определению её теплоты использованием оригинальных подходов, позволяющих обеспечить экологическую безопасность продукта горения - сернистого газа в специальных конструкциях печей сгорания [11-13]. Один из подходов обеспечения безопасности представляется смешение сернистого газа с водой в специальном резервуаре посредством, например, водоструйного насоса. Следует отметить, что сернистый газ (SO₂) при контакте с водой превращается в сернистую кислоту (H₂SO₃), далее в результате окисления в серную кислоту (H₂SO₄) – химическому реагенту широкого востребования.

В этом аспекте будут весьма полезными учет особенностей некоторых подходов и конструкций печей, осуществляющих сжигание се-

PROCESSES & APPARATUS

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
JARAYONLAR VA APPARATLARI

ры в различных составах, формах и состояниях. Наиболее распространена форсуночная печь для сжигания жидкой серы в распыленном состоянии [14-16]. Устройство по конструкции простое, представляет собой горизонтальный стальной футерованный огнеупорным кирпичом цилиндр. Жидкую серу подают в торцевую часть форсунки, и сюда же вводится воздух, который способствует сгоранию серы во всем объеме печи. Однако, конструкция форсунки не позволяет непосредственного наблюдения за процессом горения серы и измерения её теплоты, образованный сернистый газ выпускается наружу. Применяются также вертикальные форсуночные печи, где расплавленная сера, перемещаясь сверху вниз, сгорает в виде паров в токе воздуха [17, 18]. Неудобством является то, что плавление серы производится в отдельном устройстве, которое требует постоянного обогрева. В этом случае не предусмотрено проведение визуального контроля над процессом горения и определения теплоты сгорания серы.

Также для сжигания расплавленной серы применяются циклонные печи [19]. Поток воздуха и жидкая сера вводятся в эти печи тангенциально со скоростью 100 - 120 м/с. Это способствует созданию хороших условий для массо- и теплообмена паров серы с воздухом. Скорость горения при этом повышается. Благодаря тому, что процесс сжигания ведется с небольшим избытком воздуха, получают газ с концентрацией 16 - 18% SO₂. Интенсивность таких печей в 30 - 40 раз выше, чем печей форсуночных. Однако высокая температура в таких печах (1200 - 1400°С) создает сложности при конструировании и использовании их в промышленности. Поэтому очень важно изучение влияния потока воздуха на выделение тепла при горении серы для определения практических путей освоения теплоты данного элемента.

С учетом важности рассматриваемого вопроса проводили настоящую работу в целях выявления наиболее приемлемых подходов выделения серы из серосодержащих отходов газоперерабатывающих производств, осуществления расплавления и определения её теплоты сгорания под влиянием потока воздуха.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследований выбрали серосодержащие отходы Мубарекского газоперерабатывающего производства. Путем последовательного промывания данных отходов в воде и ацетоне была выделена сера, которая после сушки была механически измельчена до образования порошкообразных микрочастиц (>50×10⁻⁶ м). Полученные микрочастицы растворяли в толуоле, т.е. в одном из высокоэффективных растворителей серы для того, чтобы получить идентификационную информацию об образце.

Исследование горения серы проводили на специально-собранный конструкции, изображенной на рис. 1, состоящей из камеры сгорания (А), водоструйного насоса (В) и резервуара - отстойника (Е). Камера сгорания представляет собой вертикально установленную термостойкую стеклянную ячейку цилиндрической формы (диаметр 0,06 м, длина 0,30 м). Сверху она подключена к вакуумному манометру (М) и водоструйному насосу с резервуаром отстойником, а снизу закрыта металлическим ситом (С) с микроотверстиями (<50×10⁻⁶ м). Выбранное сито выполняло одновременно несколько функций, т.е. оно послужило сетчатой подложкой для порошкообразных (>50×10⁻⁶ м) образцов серы (S) и пропускало внутрь ячейки пламя зажигалки (F) для поджигания серы и поток воздуха (O) для усиления горения. Также через отверстие в сите проходил провод термопары (D) для измерения температуры пламени в камере. Прозрачная стенка стеклянной ячейки позволяла проведению визуального наблюдения над процессом горения серы (f) при различных давлениях потока воздуха.

Интенсивность горения серы оценивали, косвенно, по величине относительного изменения давления (P/P_o) потока воздуха, который регулировался подбором степени вытяжки воздуха водоструйного насоса. Здесь P_o - начальное и P - текущее значения давления потока воздуха в ячейке. Основным продуктом горения SO₂ высасывался водоструйным насосом и смешивался с водой в струе, далее, поступал в резервуар отстойника (Е). При этом сравнительно большая удельная масса и плохая растворимость SO₂ в воде (до 15%) способствовали осаждению его (W) в отстойнике, а выделенная водная фаза истекала через барьер наружу.

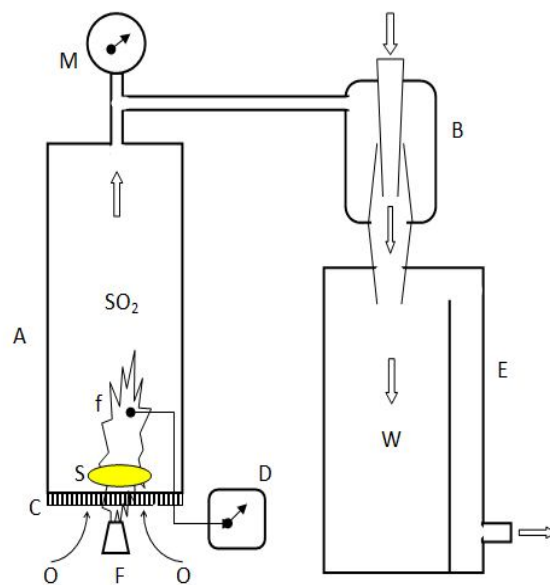


Рис. 1. Схематичное изображение конструкции для осуществления горения серы под влиянием потока воздуха.

В опытах влияние потока воздуха на процесс горения контролировали путем измерения температуры плавления (T_1) и горения (T_2) серы массой $m = 0,01$ кг посредством термопары при различных значениях P/P_0 . На основе полученных данных вычисляли теплоту сгорания (Q) по формуле [4, 13, 15]

$$Q = W(T_2 - T_1) \quad (1)$$

где W - теплоемкость серы, которая с ростом температуры увеличивается.

Например, $W = 0,712$ кДж/кгК при комнатной температуре, $W = 0,82$ кДж/кгК при плавлении ($T_1 = 388$ К) и $W = 1,028$ кДж/кгК при интенсивном горении ($T_2 = 450$ К).

УФ-спектроскопический анализ осуществлен на приборе Spesord D20.

Результаты и обсуждение

Опыты показали, что остаточная масса после промывки серосодержащих отходов в воде и ацетоне, составляют около 90-95% исходной массы, которые практически полностью растворяются в толуоле. Это позволяло считать, что остаточная масса, главным образом, состоит из серы [20]. Сравнительный УФ-спектроскопический анализ толуола с 0,1% растворами очищенной и неочищенной серы в толуоле показали проявление выраженных полос поглощения в области длины волн $l = 262$ нм и $l = 264$ нм, которые, согласно [21], характеризуют толуол и серу, соответственно (рис. 2). Полосы поглощения в области $l = 275 - 380$ нм, по видимому, соответствует некоторым включениям в состав серосодержащих отходов.

На основе анализа спектров можно сделать заключение о том, что остаточная масса состоит из серы. Выбранный подход последовательного промывания примесей и включений из состава серосодержащего отхода позволяет выделить серу в виде очищенного сырья, пригод-

ного для технических целей.

Выделенная масса очищенной серы легко измельчается при механическом трении. Это позволило получить порошкообразные образцы из выделенной серы для осуществления их высокоэффективного расплавления и горения в специально-собранный конструкции, схематично представленной на рис. 1. Опыты в данной конструкции проводили следующим образом: в стеклянной цилиндрической ячейке конструкции поджигали порошкообразную серу посредством пламени зажигалки. Возможность непосредственного визуального наблюдения процессов, протекающих внутри ячейки, позволяла определить температуру фазового перехода порошкообразной серы в расплавленное состояние, которая оказалась около 115°C . В расплавленном состоянии сера начала самостоятельно сгорать синим пламенем. После этого убрали пламя зажигалки и включили водоструйный насос, который высасывал воздух с продуктом горения серы из цилиндрической ячейки. При этом в цилиндр поступал воздух через сито и вокруг пламени серы образовался ламинарный поток воздуха. Давление потока воздуха регулировали путем изменения истечения струи воды в водоструйном насосе, которое было зафиксировано посредством вакуумного манометра. Посредством термопары зафиксировали изменения температуры пламени серы при различных степенях воздействий потока воздуха. Теплота сгорания серы рассчитывали согласно формуле (1).

На основе полученных результатов построили график, приведенный на рис. 3, характеризующий выделение теплоты сгорания серы при кратном увеличении давления потока воздуха в цилиндре. Видно, что при 4-х кратном повышении давления потока воздуха (P/P_0) наблюдается почти 2,5 раза увеличение выделяемой теплоты (Q).

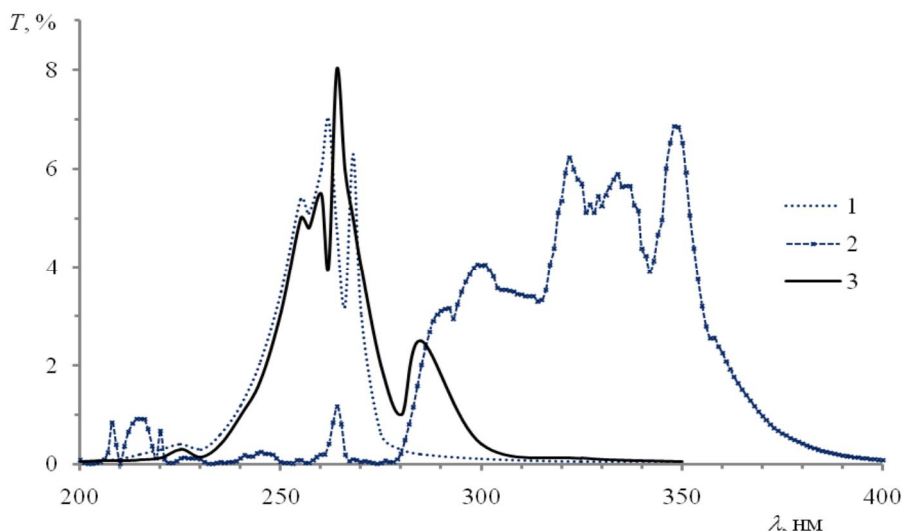


Рис. 2. УФ-спектры толуола (1), растворов серы (2) и неочищенной серы (3) в толуоле.

PROCESSES & APPARATUS

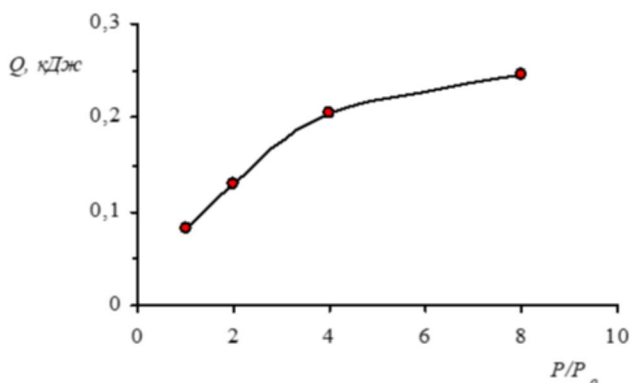
ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
JARAYONLAR VA APPARATLARI

Рис. 3. Зависимость теплоты сгорания серы (Q) от относительного давления (P/P_0) потока воздуха.

Такой прямопропорциональный участок графика позволяет считать, что поток воздуха прямым образом усиливает сгорание серы и выделение теплоты. Дальнейшее увеличение кратности давления потока воздуха от 4 до 8 раз сопровождается также повышением выделения теплоты сгорания серы, но всего в 1,1 раз внутри цилиндра. Такое сравнительно небольшое увеличение теплоты сгорания, видимо, обусловлено избытком потока воздуха, который наряду

с усилением сгорания серы может способствовать заметному охлаждению цилиндра в результате продувки, т.е. высасывания теплоты посредством водоструйного насоса наружу цилиндрической ячейки.

Заключение

Таким образом, результаты исследования показали, что сера может быть выделена из серосодержащих отходов нефтегазопереработки путем последовательного промывания в воде и ацетоне, превращена в порошкообразную форму путем механического измельчения.

Путем растворения в толуоле и УФ-спектроскопического исследования получена информация об идентификации серы. Опыты по горению серы, проведенные в стеклянном цилиндре, позволили визуально контролировать процесс расплавления и сгорания образцов при различных давлениях потока воздуха. Выявлено, что поток воздуха в заметной степени влияет на процесс горения, т.е. имеется определенный диапазон давления потока воздуха, при котором происходит интенсивное выделение теплоты сгорания серы.

REFERENCES

1. Chitasupha Wongsirathat, Orathai Chavalparit. Utilization of sulfur waste from petroleum Refinery for Sulfur Concrete. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 856, pp. 113-117. doi: 10.4028/scientific.net/AMR.856.113.
2. John Emsley. *The Elements*, 3rd ed. Oxford, Clarendon Press, 1998. 200 p.
3. Michael E. Wieser, Norman Holden, Tyler B. Coplen, Xiang-Kun Zhu. Atomic weights of the elements, 2011. *Pure and Applied Chemistry*, 2013, vol. 85, no. 5, pp. 1047-1078. doi:10.1351/PAC-REP-13-03-02.
4. William D., Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction*. John Wiley & Sons. Ins., 2010. 1000 p.
5. Chen S., Zheng S., Liu Z., Tang C., Zhao B., Du J., Jin H. Endogenous sulfur dioxide protects against oleic acid-induced acute lung injury in association with inhibition of oxidative stress in rats. *Lab Invest*, 2015, vol. 95, no.2, pp. 142-156. doi:10.1038/labinvest.2014.147
6. Wang C., Wang Y., Zhang Y., Zhao Q., Wang R. Reclamation of elemental sulfur from flue gas biodesulfurization waste sludge. *J. Air Waste Manag Assoc*, 2010, vol. 60, no 5, pp. 603-610.
7. Liu D. Sulfur dioxide: a novel gaseous signal in the regulation of cardiovascular functions. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 2010, vol. 10, no. 11, pp. 1039-1045.
8. Malkin I.Z. Utilizatsiya sernokislykh promyshlennykh otkhodov. [Utilization of sulphate industrial waste]. *Ekologiya proizvodstva*, 2003, no. 6, pp. 10-14.
9. Tian H. Advances in the study on endogenous sulfur dioxide in the cardiovascular system. *Chin Med J.*, 2014, vol. 127, no. 21, pp. 3803-3807.
10. Marcq Emmanuel, Bertaux Jean-Loup, Montmessin Franck, Belyaev Denis. Variations of sulphur dioxide at the cloud top of Venus's dynamic atmosphere. *Nature Geoscience*, 2012, vol. 6, no. 25. doi:10.1038/ngeo1650.
11. Halevy I., Zuber M.T., Schrag D.P. A Sulfur Dioxide Climate Feedback on Early Mars. *Science*, 2007, vol. 318 (5858), pp. 1903-1907. doi:10.1126/science.1147039.
12. Guerrero Raúl F., Cantos-Villar Emma. Demonstrating the efficiency of sulphur dioxide replacements in wine: A parameter review. *Trends in Food Science & Technology*, 2015, vol. 42, no. 27. doi:10.1016/j.tifs.2014.11.004.
13. Schmidt-Rohr K. Why Combustions Are Always Exothermic, Yielding About 418 kJ per Mole of O₂. *J. Chem. Educ.* 2015, vol. 92, pp. 2094-2099. doi:10.1021/acs.jchemed.5b00333.
14. Robert Zarzycki Zbigniew, Bis Rafa Kobyłecki. The Concept of Coal Burning in a Cyclone Furnace. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 157, pp. 742-479.
15. Technology Oy. *Method and apparatus for combustion of sulfur*. Patent DE. no. 102006006460A1, 2007.
16. Bogdan Wojak. *Systems and methods for sulphur combustion with multi-stage combustor*. Patent WO, no. 2014059524A1, 2014.
17. Thyssenkrupp Ag. *Method and apparatus for production of sulfuric acid*. Patent DE, no. 102015114875A1, 2017.
18. Kasatkin A.G. *Osnovnyye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii* [Basic processes and apparatuses of chemical technology]. Moscow, Khimiya Publ., 2002. 748 p.
19. Agasiyeva F.R. *Tsiklonnaya pech' dlya szhiganiya otkhodov* [Cyclone furnace for waste incineration]. Patent RU 2261219, 2014.
20. Liliana Gîtin, Rodica Dinică, Camelia Neagu, Loredana Dumitrascu. Sulfur compounds identification and quantification from *Allium* spp. fresh leaves. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2014, vol. 22, Issue 4, pp. 425-430.
21. Evdokimov I.N., Losev A.P. On the nature of UV/Vis absorption spectra of asphaltenes. *Pet. Sci. Technol.*, 2007, vol. 25, no. 1-2, pp. 55-66.