

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет математики, фізики та інформаційних технологій

(повне найменування інституту/факультету)

Кафедра загальної фізики і фізики теплоенергетичних та хімічних процесів

(повна назва кафедри)

Д и п л о м н а р о б о т а

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Горіння вугільних частинок у потоці кисню»

«Combustion of coal particles in an oxygen flow»

Виконав: студент денної форми навчання

Спеціальність: 104 - фізика та астрономія

Ботнар Володимир Віталійович

Керівник к.ф. - м.н., доц. Черненко О.С. _____

Рецензент д.ф. - м.н., с.н.с. Вишняков В.І.

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
№ 5 від 10.12.2019р.

Завідувач кафедри

_____Гоцульський В.Я.

(підпис)

Захищено на засіданні ЕК №__
протокол № __ від __.__.2019 р.

Оцінка _____/_____/_____

(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Голова ЕК

_____Шевчук В.Г.

(підпис)

Одеса – 2019

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1. Огляд результатів горіння одиночних частинок.....	5
1.1. Аналіз методів вимірювання швидкості і температури горіння вугільної частинки	5
1.2. Дослідження спалахування і горіння одиночної вугільної частинки....	12
1.3. Дослідження падіння частинок в трубчастих печах.....	14
Розділ 2. Запалювання і горіння частинок коксу в потоці кисню	23
2.1. Запалювання, стійкого горіння і самовільного погасання вуглецевих частинок в холодних азотно-кисневих сумішах	23
2.2. Експериментальна установка.....	30
2.3. Запалювання вугільних частинок в повітрі і кисні	31
2.4. Горіння вугільних частинок в повітрі і кисні	35
Висновки	38
Література	39

ВСТУП

У зв'язку зі зростанням дефіциту електроенергії в країні, викликаним старінням і виходом з ладу енергетичного обладнання, що має до того ж досить низьку ефективність порівняно зі світовими аналогами, вичерпанням легкодоступних ресурсів нафти і газу, а також практично невичерпними в найближчі 200-300 років запасами вугілля, на перший план виходять дослідження і розробки, пов'язані з удосконаленням і створенням нових вугільних енергетичних технологій. При цьому виникає необхідність використання низькосортного енергетичного вугілля з високою зольністю, вологістю, малим вмістом летких. Як відомо, при спалюванні низькосортного вугілля суттєво погіршується їх займання та вигорання, і значно зростають шкідливі пилогазові викиди (зола, оксиди азоту та сірки). Використання високореакційного рідкого палива для підтримки горіння подібних вугілля є економічно не вигідним, а використання мазуту призводить і до значного погіршення екологічних показників. Одним з можливих варіантів вирішення проблеми є розробка наукових основ технології попередньої підготовки твердого палива, яка дає можливість відмовитися від використання рідкого палива для підтримки горіння. В даний час існує декілька технологій для «безмазутного» розпалу котельних агрегатів. Одна з найбільш перспективних технологій заснована на спеціальній підготовці частини вугільного палива - «механоактивації». Даний спосіб дуже впливає на зміну кінетичних характеристик вихідного палива. В результаті чого формується високоактивне паливо, що дозволяє запалити основний потік вугільного пилу без застосування рідких палив. Розробка наукових основ технології попередньої підготовки твердого палива включає в себе проведення експериментальних робіт, спрямованих на встановлення залежності фізико-хімічних властивостей палива, зміна реакційної здатності палива від способу високоенергетичного впливу на вугільний пил.

Дослідження, орієнтовані на окремі частинки палива, покликані забезпечити пряму та неупереджену інформацію щодо процесу горіння. Отримані дані в основному використовуються для створення та підтвердження математичних теорій та моделей процесу горіння. Використання однієї частинки вугілля в якості об'єкта дослідження було вперше розпочато понад 40 років тому, і нині є одним із найважливіших етапів у ряді фундаментальних методів дослідження вугілля. Такі експерименти особливо важливі в контексті сучасних концепцій, які зараз розробляються для нових, стійких та екологічно нейтральних технологій переробки вугілля.

Метою даної роботи є виявлення механізмів запалювання і стійкого горіння вуглецевої частинки в потоці холодної азотно-кисневої суміші, зокрема в потоці кисню.

Завдання:

1. Провести експериментальні дослідження процесів вимушеного запалювання(критична початкова температура частинки і періоду індукції запалювання) і горіння частинок деревного вугілля, антрациту та електродного графіту в потоці повітрі та кисню кімнатної температури. Порівняти отримані значення з розрахунковими.
2. Експериментально дослідити закономірності часових залежностей температури, діаметру, маси і густини поруватої вуглецевої частинки (на прикладі частинки деревного вугілля і антрациту) при її запалюванні в кисні кімнатної температури в залежності від початкової температури частинки.

ВИСНОВКИ

В результаті аналізу чисельних і аналітичних розрахунків по горінню поруватої частинки коксу вугілля проілюстровано, що в азотно-кисневих сумішах кімнатної температури можливе здійснення горіння частинки в результаті її запалювання, тобто при попередньому підвищенні початкової температури частинки вище критичної температури запалювання. Показано, що інтервал розмірів частинок, які здатні запалюватися, зменшується зі зменшенням концентрації кисню аж деякого мінімального значення.

В результаті проведених експериментів по запалюванні в кисні кімнатної температури показано, що частинки деревного вугілля з діаметром близьких до 10 мм мають температуру запалювання – 490-525 К, антрациту – 895-925 К. Частинку електродного вугілля не вдалося запалити. Теоретичний аналіз показав, що це пов'язано зі збільшенням енергії активації в ряду «деревне вугілля – антрацит – електродний графіт».

При заміні повітря на кисень спостерігається підвищення температури горіння великої частинки деревного вугілля (13 мм) на 300-400 К. Для частинки антрациту температура горіння в кисні на 150-200 К більша за температуру горіння деревного вугілля. Збільшенням концентрації кисню в потоці від 0.23 до 1.0 збільшує відносна швидкість вигорання частинки практично в 2 рази з $3.3 \cdot 10^{-3}$ до $5.7 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Яворский И. А.* Физико-химические основы горения твердых ископаемых топлив и графитов. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1973. – 254 с.
2. Лавров НВ., Розенфельд А.И, Хаустович ГП. Процессы горения топлива и защита окружающей среды. М.: Металлургия, 1981. 240 с.
3. Гремячкин, В. М. Гетерогенное горение частиц твердых топлив / В. М. Гремячкин. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. - 230 с.
4. Van Krevelen D. W, van Heerden C., Huntjens J. Physiko-Chemical Aspects of the Pyrolysis of Coal and Related Organic Compounds // Fuel, 1951, vol. 30,253 p.
5. Please C.P., McGuinness MJ., McElwain D.L.S . Approximations to the Distributed Activation Energy Model for the Pyrolysis of Coal // Combustion and Flame, 2003, vol. 133, pp . 107- 117.
6. Бабий В.И, Куваев Ю.Ф. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. М.: Энергоатомиздат, 1986. 208 с .
7. Srnith I W The Combustion Rates of Coal Chars: A Review // Nineteenth Symposium (International) on Combustion. The Combustion Institute, 1982, P. 1045- 1065.
8. Srnith I W. The Combustion Rates of Coal Chars: A Review // Nineteenth Symposium (International) on Combustion. The Combustion Institute, 1982, P. 1045- 1065 .
9. Головина Е. С Высокотемпературное горение и газификация углерода. М.: Энергоатомиздат, 1983. 174 с .
10. Essenhigh R.H. Fundamentals of Coal Combustion // Chemistry of coal utilization. Second supplementary volume. Chapter 19, M.A. Elliot Ed., 1981.

11. Levendis Y.A., Flagan R. C, Gavalas G.R. Oxidation Kinetics of Monodisperse Spherical Carbonaceous Particle of Variable Properties // *Combust. and Flame*, 1989, vol. 76, pp. 221 - 241.
12. E. Marek, K. Stańczyk Case studies investigating single coal particle ignition and combustion// *Journal of Sustainable Mining*. – Vol. 12 (2013), No. 3, pp. 17–31
13. Huang G., Vastola F.J., Scaroni A.W. (1998): Measurement of particle temperatures during coal pyrolysis and combustion. Prepr. Pap. American Chemical Society Vol. 32, pp. 1–7. <http://web.anl.gov/>.
14. Su S., Pohl J.H., Holcombe D., Hart J.A. (2001): Techniques to determine ignition, flame stability and burnout of blended coals in p.f. power station boilers. *Progress in Energy and Combustion Science* Vol. 27, pp. 75–98.
15. Reichelt T., Joutsenoja T., Spliethoff H., Hein K.R.G., Hernberg R. (1998): Characterization of burning char particles under pressurized conditions by simultaneous in situ measurement of surface temperature and size. *Symposium (International) on Combustion* Vol. 27, pp. 2925–2932.
16. Khatami R., Levendis Y.A. (2011): On the deduction of single coal particle combustion temperature from three-color optical pyrometry. *Combustion and Flame* Vol. 158, pp. 1822–1836.
17. Khatami R., Stivers C., Joshi K., Levendis Y.A., Sarofim A.F. (2012): Combustion behavior of single particles from three different coal ranks and from sugar cane bagasse in O₂/N₂ and O₂/CO₂ atmospheres. *Combustion and Flame* Vol. 159, pp. 1253–1271.
18. Levendis Y.A., Joshi K., Khatami R., Sarofim A.F. (2011): Combustion behavior in air of single particles from three different coal ranks and from sugarcane bagasse. *Combustion and Flame* Vol. 158, pp. 452–465.
19. Tiziano Maffei, Reza Khatami, Sauro Pierucci, Tiziano Faravelli, Eliseo Ranzi, Yiannis A. Levendis. Experimental and modeling study of single coal particle combustion in O₂/N₂ and Oxy-fuel (O₂/CO₂) atmospheres // *Combustion and Flame*. – 2013. – Vol. 160, Issue 11. –P. 2559.

20. Paula A. Bejarano, Yiannis A. Levendis. Single-coal-particle combustion in O_2/N_2 and O_2/CO_2 environments // *Combustion and Flame*. – 2008. – Vol. 153, Issues 1–2. – P. 270.
21. Основы практической теории горения: Учебное пособие для вузов // В.В. Померанцев. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отд-ние, 1986. – С. 204.
22. Kalinchak V.V. and Chernenko A. S. Combustion and Spontaneous Extinction of Porous Carbon Particles in Nitrogen–Oxygen Mixtures at Room Temperature // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. – 2013. – Vol 49, № 2. – P.196.
23. Калинин В.В., Зинченко Ю.А., Черненко А.С., Куземко Р.Д. Влияние диаметра и температуры пористых углеродных частиц на высокотемпературную кинетику образования оксида углерода и углекислого газа // *Физика аэродисперсных систем*. – 2013. – № 50. – С. 69-85.