

ЗАЖИГАНИЕ И ГОРЕНИЕ КАПЕЛЬ ЖИДКИХ И СУСПЕНЗИОННЫХ ТОПЛИВ В УСЛОВИЯХ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ НАГРЕВА ЛАЗЕРНЫМИ СПОСОБАМИ ОБРАБОТКИ

А. Абедтазехабади

Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа А9-44

Водоугольные (ВУТ) и органоводоугольные (ОВУТ) топлива на практике предполагаются сжигать в условиях распыления форсунками или различного типа инжекторами в топках энергогенерирующих установок. В таких условиях на характеристики процессов зажигания и горения значительное влияние будут оказывать не только режим распыления, от которого зависит размер образующихся капель и струй, но характеристики поверхностей нагрева с которыми часть капель будет взаимодействовать. В настоящее время не только для перспективных новых видов топлив, таких как ВУТ и ОВУТ, но и для традиционных жидких топлив не изучено влияние характеристик поверхностей нагрева, в частности конфигурации текстуры, на характеристики зажигания и горения на уровне, позволяющим сформулировать практические рекомендации к текстуре поверхностей теплообмена энергогенерирующих установок. Настоящая работа направлена на изучение влияния конфигурации текстуры в виде микроканалов на характеристики зажигания и горения капель новых видов топлива ОВУТ, эмульсии и масла в обычном жидком состоянии в условиях, соответствующих условиям работы энергогенерирующего оборудования в режиме запуска (смешанный подвод теплоты к капле (конвекцией, излучением и кондукцией)) и в режиме номинальной работы оборудования (преимущественно кондуктивный прогрев капли топлива при ее взаимодействии с поверхностью).

В проведенных экспериментах использовалось два состава композиционного топлива и отработанное машинное масло, входящее в состав этих композиционных топлив. Состав топливной эмульсии: отработанное моторное масло (48 % масс.), вода (48 % масс.), эмульгатор TWIN 80 (4 % масс.) приготовлено по методике [1]. Состав топливной суспензии: отработанное моторное масло (35 % масс.), вода (35 % масс.), отход (фильтр-кек) обогащения каменного угля марки К (30 % масс.) приготовлено по методике [2]. На поверхностях X16CrNi25-20 сформировано четыре различных вида текстуры. Одна серия поверхностей с условным обозначением Р обработана механическим способом путем полировки. На поверхностях с условным обозначением АВ, А2В, 2АВ сформирована конфигурация текстур в виде параллельных микроканалов, лазерной обработкой. На поверхностях АВ запроектировано, что ширина текстурированной локальной области поверхности (т. е. ширина микроканала 65 мкм) равна ширине не текстурированной части. На поверхностях А2В ширина текстурированной локальной области поверхности (130 мкм) запроектирована в два раза больше ширины нетекстурированной части поверхности (65 мкм). На поверхностях 2АВ запроектировано, что ширина микроканала равна 65 мкм, а ширина не текстурированной части равна 130 мкм. На рисунках 1 и 2 приведены модели экспериментальных стенов, используемых в проведенных исследованиях.

Температура воздушной среды $T_e=950$ °С в полости керамической трубки печи 2 (рисунок 1) соответствовала температуре в топке современного энергогенерирующего оборудования. Капля топлива 3 (эмульсии, суспензии или масла) объемом 10 мкл дозировалась на поверхность стали 4 (рисунок 1).



Рис. 1. Модель экспериментального стенда смешанного подвода теплоты к капле топлива:
 1 – трубчатая муфельная печь; 2 – керамическая трубка; 3 – капля топлива; 4 – поверхность стали;
 5 – штатив; 6 – координатный механизм; 7 – блок управления координатным механизмом;
 8 – высокоскоростная камера; 9 – прожектор; 10 – персональный компьютер

Поверхность стали 1 (рисунок 2) помещалась в рабочую область нагрева электромагнитного индуктора 2. Температура поверхности стали контролировалась на уровне 950 °С. Капля топлива 7 (эмульсии, суспензии или масла в обычном жидком состоянии) объемом 5 мкл размещалась на специальном держателе 8. Капля топлива на специальном держателе помещалась на нагретую поверхность стали.

В экспериментах определялись основные характеристики зажигания и выгорания капели топлив: время задержки зажигания (τ_d), максимальный размер области выгорания топлива (D_{\max}), число инициаций паффинга (N), время выгорания. В экспериментальных исследованиях при смешанном подводе теплоты дополнительно определялся контактный диаметр растекания капель топлив (d_s).

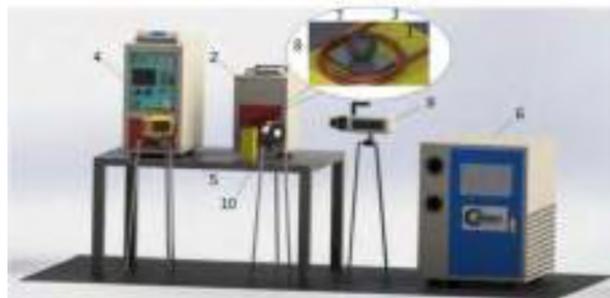


Рис. 2. Модель экспериментального стенда кондуктивного подвода теплоты к капле топлива:
 1 – модифицированная поверхность стали; 2 – электромагнитный индуктор; 3 – индукционная спираль; 4 – блок управления индуктором; 5 – тепловизионная видеокамера; 6 – чиллер; 7 – капля топлива; 8 – держатель; 9 – высокоскоростная видеокамера; 10 – прожектор

Из трех используемых в экспериментах топлив (масла в обычном жидком состоянии, эмульсии и суспензии) при идентичном объеме капли, масло растекается по поверхностям стали с наибольшим контактным диаметром, а суспензия с наименьшим. Последнее обусловлено агрегатным состоянием дисперсионной среды и дисперсной фазы топлив. Контактный диаметр топлив в продольном направлении растекания в 1,5–2,5 раза больше аналогичной характеристики при поперечном растекании. Последнее связано с тем, что при поперечном растекании микроканалы выступают в качестве энергетических барьеров, препятствуют движению контактной линии по поверхности в результате чего капля принимает вытянутую в направлении микроканалов форму. По этой же причине диаметр растекания в продольном направлении больше на поверхностях АВ, А2В, 2АВ, чем на полированной поверхности Р. Но по поперечному направлению диаметр растекания топлив на поверхностях АВ, А2В, 2АВ меньше, чем на полированной поверхности Р несмотря на то, что модифицированные лазерным излучением поверхности стали характеризуются супергидрофильными и суперолиофильными свойствами.

Из зависимостей $\tau_d = f(S)$ (рисунок 3) видно, что чем больше площадь проекции межфазной поверхности “капля топлива – поверхность нагрева”, тем меньше время задержки за-

жигания каплей топлив (масла в обычном жидком состоянии, эмульсии и суспензии). Последнее обусловлено тем, что чем больше S , тем больше площадь контакта капли с поверхностью нагрева.

Сделан вывод о том, что из используемых в экспериментах конфигураций текстур в виде параллельных микроканалов наибольший положительный эффект на сокращение времени задержки зажигания (рисунок 3) оказывает текстура поверхности 2AB не только по причине лучшего растекания каплей топлива по ней, но и за счет наибольшего прироста площади поверхности, обусловленной развитой шероховатостью.

Из рисунка 4 видно, что, как и в случае смешанного подвода теплоты, при кондуктивном подводе теплоты лазерная обработка поверхностей стали способствует уменьшению времени задержки зажигания.

Сделан вывод о том, что в условиях работы энергогенерирующего оборудования в номинальном режиме для уменьшения времен зажигания каплей масла в жидком состоянии, эмульсии и суспензии необходимо на поверхностях нагрева создавать развитую многомодальную шероховатость, характеризующуюся наибольшим проростом площади поверхности. Лазерная технология обработки поверхностей нагрева из стали марки X16CrNi25-20 позволяет создавать текстуру из элементов в виде микроканалов с заданными геометрическими размерами и контролировать шероховатость достаточно в широких диапазонах изменения ее 3D-параметров. При этом можно увеличить площадь поверхностей нагрева более чем в два раза за счет создания микроканалов и развитой многомодальной шероховатости из элементов закристаллизовавшегося расплава металла. Рост площади поверхности за счет шероховатости позволяет до 40 % уменьшить время задержки зажигания каплей новых композиционных видов топлива (ОВУТ и эмульсии), а также жидких в условиях работы энергогенерирующего оборудования в номинальном режиме.

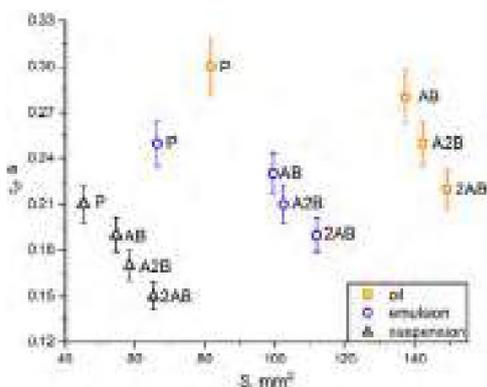


Рис. 3. Зависимости времен задержки зажигания каплей топлив от площади проекции межфазной поверхности “капля топлива – поверхность нагрева” в условиях смешанного подвода теплоты

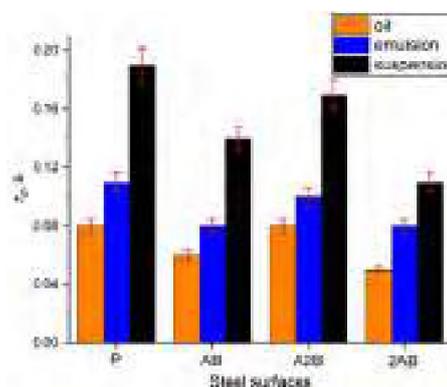


Рис. 4. Времена задержки зажигания каплей топлива (масла в жидком состоянии, эмульсии и суспензии) в условиях кондуктивного подвода теплоты

Из используемых текстур в экспериментах, воспроизводящих номинальный режим работы энергогенерирующего оборудования, наименьшее время выгорания каплей топлив масла, эмульсии и суспензии зарегистрировано на поверхностях с текстурой 2AB при всех прочих равных условиях. Полученный результат объясняется более развитой поверхностью за счет выбранной конфигурации текстуры. Для интенсификации процесса выгорания каплей топлив в условиях, соответствующих номинальному режиму работы энергогенерирующего оборудования, предпочтительно использовать на практике поверхности нагрева с более развитой текстурой. Из используемых конфигураций текстур, наилучшие результаты продемонстрировала текстура 2AB. Последняя характеризуется параллельными микроканалами шириной около 65 мкм с расстоянием между осями микроканалов равным 195 мкм, развитой текстурой на необработанной части поверхности лазерным излучением, сформированной закристаллизовавшимся расплавом.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Vershinina, K.Y.; Glushkov, D.O.; Nigay, A.G.; Yanovsky, V.A.; Yashutina, O.S. Oil-Filled Cryogels: New Approach for Storage and Utilization of Liquid Combustible Wastes. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2019, 58, 6830–6840, doi:10.1021/acs.iecr.9b00580.
2. Feoktistov, D. V.; Glushkov, D.O.; Kuznetsov, G. V.; Orlova, E.G.; Paushkina, K.K. Ignition and Combustion Enhancement of Composite Fuel in Conditions of Droplets Dispersion during Conductive Heating on Steel Surfaces with Different Roughness Parameters. *Fuel* 2022, 314, 122745, doi:10.1016/J.FUEL.2021.122745

Научный руководитель: к.т.н. Д.В. Феоктистов, доцент ИШФВП ТПУ; профессор, д.ф.-м.н. Г.В. Кузнецов, профессор ИШЭ ТПУ.

НОВЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРОЙ ЛЕЙДЕНФРОСТА

А.В. Дорожкин

Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5БМ24

Испарение и кипение встречаются повсеместно в различных технологических установках и аппаратах, например, в электронике, авиа и космических технологиях при разработке компактных и легких теплообменных устройств, на ТЭЦ при генерации пара. Однако, в условиях нагрева поверхности, контактирующей с каплями теплоносителя, до температуры, превышающей температуру насыщения теплоносителя ($T_{\text{wall}} > T_{\text{sat}}$), между каплей и поверхностью формируется паровой слой, который изолирует поверхность нагрева [1]. В этом случае реализуется эффект Лейденфроста, а тепловой поток равен или близок к критическому значению.

Возникновение эффекта Лейденфроста крайне нежелательно в различных технологических процессах, например, спрейное охлаждение нагретых поверхностей. Поскольку в таких условиях возможен значительный перегрев поверхностей, приводящий к их термическому разрушению. В этой связи, наиболее актуальным является поиск решения проблемы, заключающейся в управлении эффектом Лейденфроста на поверхностях нагрева технологического оборудования. В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований эффекта Лейденфроста на поверхностях твердых материалов. Также представлены результаты по разработке способа создания конструкционных материалов для теплопередающих устройств с заданными целевыми свойствами.

В экспериментах по исследованию возможности сдвига эффекта Лейденфроста в область более высоких температур использовались образцы, изготовленные из широко используемых конструкционных металлов (алюминиевый сплав АМГ3, нержавеющая сталь). Поверхности первой группы образцов полировались, поверхности второй группы образцов после полировки подвергались лазерной обработке. Последняя осуществлялась с помощью иттербиевого наносекундного импульсного волоконного лазера IPG-Photonics (IPG-Photonics, Russia) с длиной волны 1064 нм. Варьированием энергетических параметров лазерного излучения (мощности, частоты и длительности импульса), а также параметров, отвечающих за перемещение луча лазера в двух направлениях, создавались различные виды текстур на поверхности металлов (рисунок 1).

Эффект Лейденфроста исследовался на установке [2], состоящей из нагревательного элемента (керамическая плита) и системы для реализации теневого оптического метода. Капля дистиллированной воды объемом 10 мкл помещалась дозатором на разогретую поверхность образца. Температуры под поверхностью образца и на поверхности регистрировались термо-