

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИРОЛИЗА МЕТАНА НА ЭЛЕКТРОДУГОВОМ ПЛАЗМАТРОНЕ

Тюльков К.В.¹, Боровик И.Н.¹, Ребров С.Г.²

¹ Московский авиационный институт, г. Москва, kuzma.q2@gmail.com

² ГНЦ ФГУП «Исследовательский центр им. Келдыша, г. Москва

Ключевые слова: электродуговой плазматрон, пиролиз, конечная скорость реакций.

С повышением требований к тепловой энергетике и ужесточением экологических норм в последние десятилетия все больший интерес крупных компаний потребителей голубого топлива (природного газа) вызывают смеси углеводородов с чистым водородом, по причине того, что содержание в газе водорода снижает выделение таких влияющих на экологию соединений как двуокись углерода и сажа. Один из таких видов топлива является синтезгаз – представляющий собой смесь из нескольких компонентов основные из которых природный газ и водород. Также все более и более растущий интерес вызывает водородная энергетика. В своей работе мы исследуем физико-химические процессы пиролиза метана, с применением численных методов расчета многокомпонентной смеси с многоступенчатыми химическими реакциями.

Методы получения водорода можно разделить на «грязные» и «чистые». В промышленных масштабах водород получают неполным сжиганием, каталитическим окислением углеводородов (1) либо газификацией угля и паровой конверсией углеводородов [1] химические реакции (2), (3).



Эти методы можно отнести к грязным методам получения водорода. Появление в продуктах оксидов углерода начисто перечеркивает концепцию водородной энергетике и энергетике с использованием водородных смесей – обеспечение экологической безопасности и уменьшение выделения парниковых газов.

Другой «чистый» метод получения водорода электролизом (4) является энергозатратным и дорогостоящим. Следовательно, нецелесообразно говорить об использовании водорода полученного этим методом в энергетике.



Пиролиз метана в спутном потоке струи горячего газа в плазматроне (химическая формула процесса пиролиза (5)) позволяет получить водород совмещая в себе простоту химических методов и чистоту методов на основе электролиза.



Схематично процесс пиролиза метана в спутном потоке [1] показан на рисунке 1.

Горячий газ из плазматрона 2 попадает в реактор, в реакторе происходит процесс пиролиза при смешении горячего газа из плазматрона и холодного газа, подаваемого в реактор. В зависимости от режимов работы данной схемы, отмеченные на рисунке 1 температуры, могут иметь разное значение.

Дополнительно следует отметить что в зависимости от режимов работы плазматрона, характеризующихся подачей, скоростью подачи газов и температурой дуги осуществляется перераспределение массового баланса продуктов пиролиза с уменьшением количества водорода и увеличением ацетилена. Ацетилен также является полезным коммерческим продуктом, широко применяемым в промышленности [2].

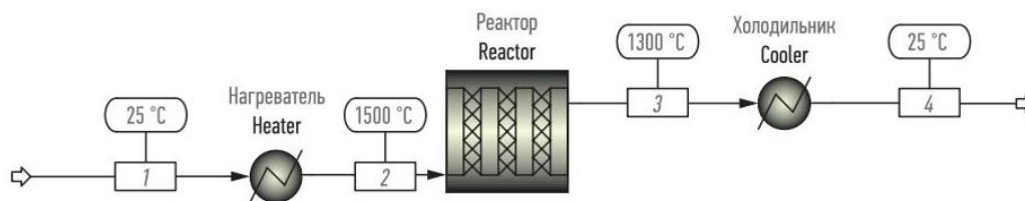


Рисунок 1 – Модель пиролиза метана

В своей работе мы исследуем физико–химические процессы, происходящие в газовой смеси продуктов пиролиза плазмотрона малой мощности с использованием численных методов вычислительной гидро-газодинамики многокомпонентной смеси с химическими реакциями. Для описания химических реакций распада углеводородов в плазменной дуге используется подход с конечными скоростями реакций – модель Аррениуса и редуцированная схема химической кинетики на базе опубликованной в открытых источниках схемы GriMECH 3.0 [3]. Также параллельно использовалась усовершенствованная схема Магнуссена – модель, основанная на концепции турбулентного вихря EDC (Eddy Dissipation Concept) [4]. Редуцирование схемы многоступенчатых реакций химической кинетики было основано на критерии, зависящем от массовой доли продуктов реакции. В особенности следует отметить, что механизм GriMECH 3.0 создавался для сжигания углеводородов в окислителе. В случае термического пиролиза нет необходимости учитывать химические реакции окисления, соответственно окислители и реакции с ними могут быть исключены из схемы в первую очередь.

Список литературы

1. Кодряну Н.П., Ишмурзин А.А. Теоретическая основа и практический анализ технологий для водородной стратегии Российской Федерации, «Газовая промышленность». – №1. – 2022. – 23 с.
2. Трошин К.Я. Кинетическое моделирование закалки продуктов сгорания при получении ацетилена, Химическая физика. – 2019. – Том 38. – № 8. С. 3–11.
3. Frenklach M., Wang H., Goldenberg M. An optimized detailed chemical reaction mechanism for methane combustion, GRI-Mech, 1995, Energy and Power Engineering. – Vol. 4. – No. 1. January 17.
4. Gran I.R., Magnussen B.F. A Numerical Study of a Bluff-body Stabilized Diffusion Flame. Part 1. Influence of Turbulence Modeling and Boundary, Combustion Science and Technology, 119:1-6, 171-190.

Сведения об авторах

Тюльков К.В., старший преподаватель, инженер научно-исследовательского отдела кафедры «Ракетные двигатели». Область научных интересов: Процессы сажеобразования в камерах сгорания тепловых двигателей.

Боровик И.Н., к.т.н., доцент, начальник научно-исследовательского отдела кафедры «Ракетные двигатели». Область научных интересов: Процессы тепломассообмена в камерах сгорания тепловых двигателей.

Ребров С.Г., д.т.н., с.н.с., начальник отдела. Область научных интересов: Пиролиз углеводородов с использованием электродугового плазмотрона малой и большой мощности.

A NUMERICAL STUDY OF THE METHANE PYROLISYS WITH ELECTRIC ARC PLASMATRON

Tyulkov K.V.¹, Borovik I.N.¹., Rebrov S.G.².

¹ Moscow Aviation Institute, Moscow, kuzma.q2@gmail.com

² JSC SSC «Keldysh Research Center», Moscow

Keywords: electric arc plasmotron, pyrolysis, reaction finite rate.

With the increasing requirements for thermal power and the tightening of environmental regulations in recent decades, the increasing interest of large companies of blue fuel (natural gas) consumers has caused mixes of hydrocarbons with clean hydrogen. Because the hydrogen content in the gas reduces the release of such ecologically, influencing compounds as carbon dioxide and carbon black. One such fuel is syngas - a mixture of several components the main ones of which are natural gas and hydrogen. Hydrogen power is also of increasing interest. In this work, we are researching the physical and chemical processes of methane pyrolysis, using numerical methods of calculating a multi-component mixture with multi-stage chemical reactions.