

Методика составления материального баланса при конверсии метана в электронно-пучковой плазме*

В.А. Пинаев¹, В.О. Константинов¹, В.Г. Щукин¹

¹Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Проведена конверсия метана в электронно-пучковой плазме с наложением дополнительного электромагнитного поля. С помощью *in situ* масс-спектрометрии зарегистрированы продукты, такие как ацетилен, этилен, этан, полученные в плазмохимических реакциях. Составлен материальный баланс процесса по углероду и водороду.

Ключевые слова: плазмохимическая конверсия метана, электронно-пучковая плазма, холодный плазмотрон, сверхзвуковая струя, масс-спектрометрия, внутренний стандарт.

Введение

Повышение эффективности конверсии метана в водород и углеводороды группы C_{2+} является актуальной задачей для современной химической промышленности. Одним из способов повышения скорости протекания реакций и, как следствие, высоких выходов продуктов является использование неравновесной низкотемпературной плазмы. Ввиду нетипичных для равновесных условий значений температур, концентраций заряженных частиц и радикалов, плотностей светового излучения низкотемпературная плазма позволяет достичь значительных величин удельной энергии и ускорить протекание химических реакций [1]. Однако чрезмерный нагрев исходного сырья и длительное время нахождения в зоне повышенных температур способны в итоге привести к снижению выхода синтезируемого продукта (углеводороды группы C_{2+}) и нежелательному отложению углерода в объеме реактора [1, 2]. Поэтому вопросы оптимального нагрева и своевременного охлаждения (закалки) зоны реакции являются первостепенными для оптимизации процессов синтеза в низкотемпературной плазме и повышения выхода продуктов.

Известны различные способы создания низкотемпературной плазмы. Большое внимание уделено исследованию процессов синтеза в дуговом, тлеющем, искровом и микроволновом разрядах [3–9]. Перспективными являются активно развивающиеся в настоящее время исследования диэлектрического барьерного разряда, позволяющего осуществлять конверсию метана в высшие углеводороды, преимущественно в ненасыщенные, такие как ацетилен и этилен, при достаточно мягких условиях [10, 11]. В данной работе конверсия метана осуществляется с помощью электронного пучка и индуктивно связанной плазмы [12]. Такой комбинированный способ активации исходного сырья позволяет получать плотную низкотемпературную плазму с регулируемым подогревом зоны реакции, а высокоскоростное расширение струи активированного газа – производить закалку синтезированного продукта, избегая его дальнейшей деструкции.

Основным недостатком плазмохимических методов является их низкая селективность по сравнению с термokatалитическими способами превращения углеводородов. Поэтому задача выбора оптимального режима конверсии для конкретного способа активации стоит особо остро и требует точного определения синтезируемых продуктов. В этой связи в данной работе приводятся результаты построения массового баланса продуктов синтеза в электронно-пучковой плазме с помощью *in situ* масс-спектрометрии с использованием газа внутреннего стандарта (гелия), который подается в зону реакции и заведомо не участвует в реакциях. Показано, что данный подход является действительным решением проблемы диагностики продуктов синтеза углеводородов и может быть использован на практике.

Экспериментальная установка и методика

Эксперименты проводились на газодинамической установке низкой плотности Института теплофизики СО РАН. Схема установки приведена на рис. 1. Источником плазмы служил холодный плазмотрон, состоящий из электронной пушки 1 с полым катодом и блока кольцевых сопел Лаваля 2. Электронная пушка генерировала электронный пучок 3 с энергией 7 кэВ и током 250 мА, ко-

* Исследования выполнены в рамках государственного задания ИТ СО РАН 122022800487-2.