

03

## Дисковый газофазный магнитогидродинамический ускоритель

© Г.А. Поздняков

Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, Новосибирск  
E-mail: georg@itam.nsc.ru

Поступило в Редакцию 2 ноября 2006 г.

Описан импульсный дисковый газофазный магнитогидродинамический ускоритель с радиальным начальным потоком газа и радиальным направлением электрического тока. Приведены некоторые его рабочие параметры и характеристики ускоренного с его помощью потока природного газа. Магнитогидродинамический ускоритель предлагаемого типа может быть использован для исследований в области химической кинетики, а в перспективе может быть применен в составе сверхзвуковых газофазных эндотермических химических реакторов с газодинамическим управлением.

PACS: 51.10.+y, 82.40.Ck

Общие принципы устройства сверхзвукового газофазного эндотермического химического реактора описаны в [1,2]. Их отличительной особенностью являются следующие основные принципы. Целевая химическая реакция инициируется за скачком уплотнения при торможении сверхзвукового высокоэнтропийного потока реагента в результате резкого разогрева реагента. Ускорение реагента производится при достаточно низкой статической температуре, чтобы за время ускорения не происходило существенных химических преобразований. Ускорение потока осуществляется до скорости, при которой запасенной кинетической и тепловой энергии было бы достаточно для проведения целевой химической реакции при торможении потока. Так, плотности кинетической энергии потока метана, ускоренного до скорости порядка 4 km/s, достаточно для его полной конверсии в этилен. Автор предлагает использовать в качестве ускорителя в составе такого реактора дисковый магнитогидродинамический ускоритель [3].

Принцип действия ускорителя и его схема описаны на рис. 1. Дисковый магнитогидродинамический канал образован двумя диэлектриче-

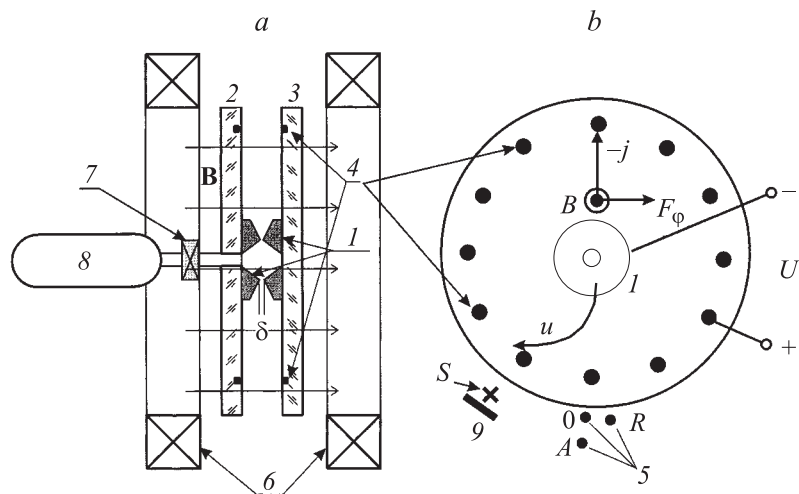


Рис. 1. Схема дискового МГД-ускорителя.

скими дисками 2, 3. В центре дискового канала находится сверхзвуковое сопло 1, образованное двумя усеченными конусами, создающее радиальный сверхзвуковой поток газа. Сопло выполнено из меди и является одновременно катодом. Ускоряемый газ, находящийся в баллоне постоянного давления 8, через электромагнитный клапан 7 подается в сопло. По периферии канала в его стенках вмонтировано 24 анода [4]. Канал помещен в однородное постоянное магнитное поле с индукцией  $B$ , нормальное к его стенкам. Ускоритель расположен внутри вакуумной емкости, куда происходит выхлоп. Принцип действия ускорителя ясен из схемы. На ток  $j$ , протекающий между электродами 1 и 4, действует сила Ампера  $F_\phi$ , которая ускоряет газ. На схеме стрелкой качественно показана результирующая траектория потока  $u$ . Необходимым условием работы ускорителя является однородное распределение тока по объему канала (режим объемного разряда). Контрагирование разряда приводит к резкому снижению эффективности ускорителя, так как дуга вращается в канале, почти не увлекая газ.

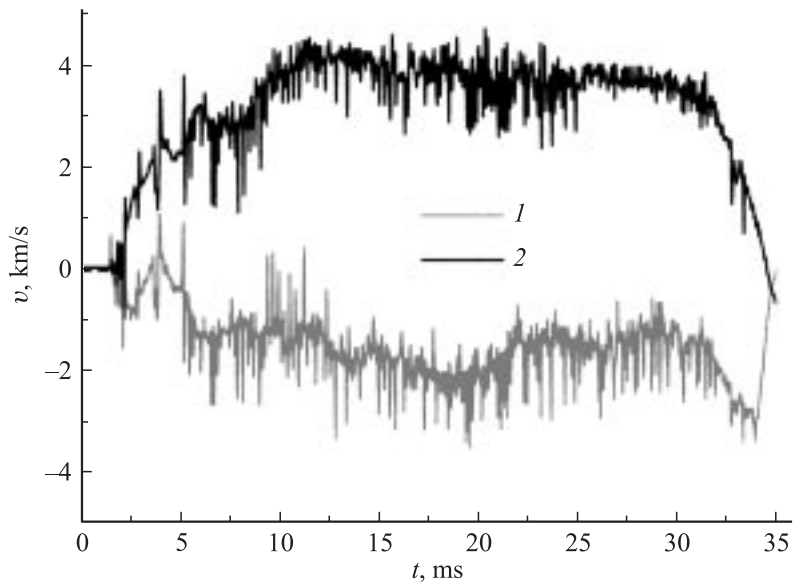
Торможение ускоренного потока может производиться различными способами, например в конфузоре или на преграде. Мы использовали

преграду в виде пластин, установленных по периферии вблизи края дискового канала, перпендикулярных направлению скорости потока. Положение одной из преград 9 схематически показано на рис. 1.

Основные технические характеристики ускорителя следующие. Анод секционированный, каждая секция питается через добавочный резистор, что позволяет реализовать режим объемного разряда. Ускоритель импульсного действия запитан от 12-звенной формирующей LC-линии с рабочим напряжением до 5 кВ, разрядным током до 3 кА и временем разряда до 50 ns. Форма импульса тока близка к прямоугольной. Диаметр канала 200 mm, ширина регулируемая, в описываемых экспериментах была равна 20 mm. Коническое сопло имеет внешний диаметр 60 mm, критический зазор  $\delta$  регулируемый, в описываемых экспериментах составлял величину 0.3 mm. Величина зазора определяет расход газа и число  $M$  потока, поступающего в разрядный промежуток. Геометрическое число Маха устанавливалось равным 5. Баллон заполнялся рабочим газом до давления 0.5 МПа. Величина магнитной индукции, создаваемой электромагнитом постоянного тока, может плавно регулироваться до величины 0.35 Т внутри магнитогидродинамического канала.

В экспериментах измерялись разрядный ток, напряжение на разрядном промежутке, давление в форкамере, скорость на выходе из ускорителя. Так же регистрировались спектр излучения потока вблизи среза канала ускорителя и интенсивность излучения потока. Скорость потока измерялась с помощью электрических зондов 5, установленных вне разрядного промежутка вблизи среза канала как показано на рис. 1. Зонды  $A$  и  $R$  позволяют измерять две компоненты скорости потока, азимутальную  $v_A$  и радиальную  $v_R$ , поскольку потенциалы, индуцированные на них относительно зонда 0, равны соответственно  $\varphi_A = v_A l B$  и  $\varphi_R = v_R l B$ , где  $B$  — величина индукции магнитного поля в месте расположения зондов,  $l$  — расстояние между ними.

В зависимости от величин критического сечения сопла давления рабочего газа и величины индукции магнитного поля могли реализоваться режимы диффузного разряда и контрагированного разряда. Измерения временной зависимости яркости свечения потока на выходе из канала позволяют определить переход к режиму контрагированного разряда. Такие измерения проводились с помощью фотодатчика, установленного на расстоянии 10 mm от выхода канала и направленного нормально к направлению потока. В случае реализации режима объемного разряда,



**Рис. 2.** Временные зависимости компонент скорости потока.

когда регистрировалось ускорение потока газа, интенсивность свечения была слабо модулирована по времени. В случае реализации режима контрагированного разряда наблюдалась сильная модуляция интенсивности излучения с частотой порядка 100 кГц.

При реализации режима объемного разряда была получена скорость потока природного газа на выходе из ускорителя около 5 км/с, причем скорость оставалась близкой к постоянной в течение всего времени разряда при давлении в форкамере, близком к постоянному. На рис. 2 приведены временные зависимости компонент скорости. Азимутальная  $v_A$  1 компонента скорости составляла величину около 2 км/с, радиальная 1 компонента скорости составляла величину около 2 км/с, радиальная  $v_R$  2 колебалась около значения порядка 4 км/с. При этом напряжение разряда было около 700 В, ток разряда — до 2 кА.

Для этой же точки производилась регистрация спектра излучения плазмы в видимом диапазоне. Спектры регистрировались для свободно истекающего потока и из области вблизи обтекаемой поверхности

установленного барьера (точка  $S$  на рис. 1). Барьер представлял собой пластинку размером  $20 \times 20$  мм, установленную на расстоянии 20 мм от канала. В спектре излучения потока выделяются полосы Свана, принадлежащие молекулам  $C_2$  и линии атомарного водорода  $H_\alpha$  и  $H_\beta$ . По отношению интенсивностей линий атомарного водорода была произведена оценка электронной температуры в указанной точке. Она оказалась равной 3500 и 8700 К для случаев свободного истечения и из области торможения потока соответственно. Спектральные исследования подтвердили факт существенного ускорения потока в описываемом ускорителе и разогрев газа при торможении потока, необходимый для проведения эндотермической реакции. В [4] приведены некоторые результаты химического анализа продуктов пиролиза, которые демонстрируют высокую глубину преобразования природного газа.

Автор считает, что предложенная схема получения высокоэнтальпийных потоков может использоваться в эндотермических химических газофазных реакторах и для исследовательских целей.

Представленная работа выполнена благодаря финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 20 „Взаимодействие плазмы с высокоскоростными потоками газа“, заказного интеграционного проекта СО РАН № 176 „Химические и биотехнологические реакторы нового поколения“ и интеграционного проекта СО РАН № 44 „Неокислительная дегидроконденсация метана в сверх- и дозвуковых газодинамических реакторах“.

## Список литературы

- [1] Буянов Р.А., Васильева Н.А., Пармон В.Н. и др. Эндотермический химический реактор с газодинамическим управлением. Новосибирск, 2001 (Препр. / Ин-т теор. и прикл. механики СО РАН. 2001. № 5).
- [2] Фомин В.М., Фомичев В.П., Правдин С.С. и др. Способ проведения газофазных реакций. Патент RU 2222569.
- [3] Поздняков Г.А., Головнов В.А. Дисковый МГД-ускоритель газового потока. Новосибирск, 2003 (Препр. / Ин-т теор. и прикл. механики СО РАН. 2003. № 6).
- [4] Pozdnyakov G.A., Pravdin S.S., Bobrovnikova E.Yu. // XII International Conference on the Methods of Aerophysical Research ICMAR-2004. Novosibirsk, 2004.