

УДК 533.6

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МГД-УПРАВЛЕНИЯ ГИПЕРЗВУКОВЫМ ОБТЕКАНИЕМ ТЕЛ

© 2011 г.

*В.П. Фомичев, М.А. Ядренкин*

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск

fomichev@itam.nsc.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Экспериментально показано, что локальное МГД-взаимодействие в гиперзвуковом потоке позволяет изменять угол наклона скачка на клине и трансформирует присоединенный косой скачок уплотнения на тонкой пластине в отошедший прямой скачок.

*Ключевые слова:* локализованное МГД-взаимодействие в гиперзвуковом потоке, изменение угла наклона скачка на клине и пластине.

В настоящее время активно исследуются магнитогидродинамические (МГД) методы управления обтеканием тел в гиперзвуковом потоке воздуха для различных аэрокосмических приложений, таких как улучшение работы прямоточных воздушно-реактивных двигателей, усиление торможения возвращаемых летательных аппаратов при входе в верхние слои атмосферы и другие. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования МГД-взаимодействия в гиперзвуковом потоке на МГД-стенде (на базе ударной трубы), позволяющем моделировать натурные условия полетов на высотах 30–50 км с числами Маха 6, 8, 10 [1]. Для ионизации потока использовали различные конфигурации импульсного электрического разряда. Индукция используемого магнитного поля достигала 2.5 Тл, скорость набегающего потока – около 2000 м/с.

При исследовании локального МГД-взаимодействия в потоке перед клином показано, что при величинах параметра гидромагнитного взаимодействия  $S = IB/(kbpv)$  порядка 0.01–0.10 угол наклона присоединенного косого скачка уплотнения может быть изменен на 2–10 градусов при числе Маха набегающего потока 6–10. Постановка эксперимента проводилась по схеме, описанной в [2]. На рис. 1 приведена зависимость угла наклона присоединенного скачка уплотнения от величины параметра гидромагнитного взаимодействия при числе Маха потока  $M = 6$ . Данный метод может эффективно использоваться для управления скачками уплотнения на входе в воздухозаборник ПВРД при смене режима полета летательного аппарата.

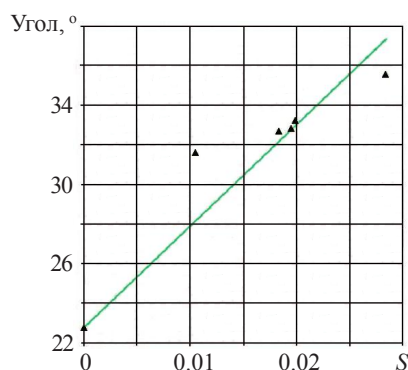


Рис. 1

Исходя из результатов высокоскоростной шликрен-съемки, было установлено время формирования присоединенного скачка в условиях полета на высоте 30 км с числом Маха 6 при прохождении МГД-возмущенной области набегающего потока над клином. На рис. 2 в хронологическом порядке приведены кадры фотосъемки, на которых отражено движение МГД-возмущенной области над поверхностью модели (рис. 2а – обтекание клина в невозмущенном потоке, рис. 2б, в – при локальном МГД-возмущении; 1 – электроды, 2 – клин). Временной интервал между вторым и третьим кадрами составляет 3 мкс. Следовательно, время установления течения на клине не превышает 3 мкс. Проведены исследования обтекания тонкой пластины при локализованном МГД-взаимодействии на ее поверхности. На рис. 3 представлены шликрен-фотографии обтекания пластины: а – без магнитного поля, б – при  $B = 0.21$  Тл, в –  $B = 0.34$  Тл, г –  $B = 1$  Тл; 1 – модель, 2 – электроды, 3 – экранирующие пластины).

Установлено, что при величине магнитной ин-

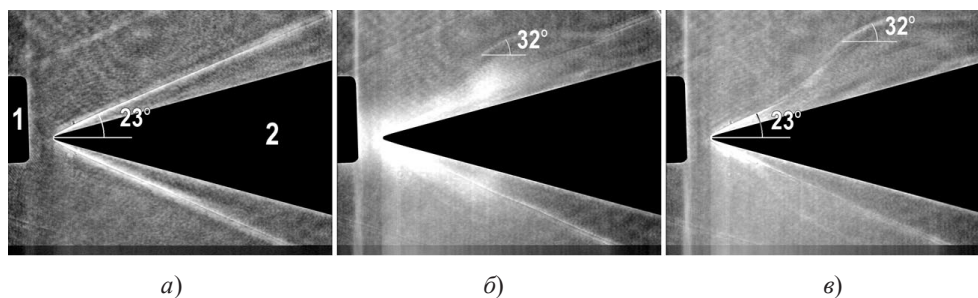


Рис. 2

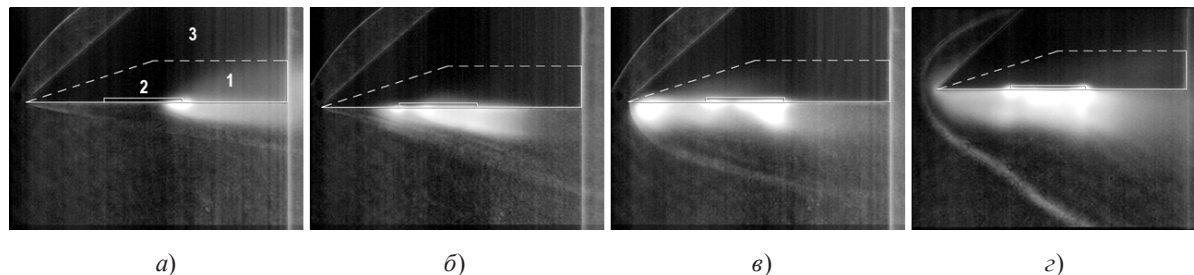


Рис. 3

дукции свыше 1 Тл присоединенный скачок уплотнения, генерируемый передней кромкой, трансформируется в отошедший прямой скачок (см. рис.3). При этом значительно возрастает сечение взаимодействия пластины с потоком, что может быть использовано для усиления торможения тонкого тела в разреженном газе, например, при входе летательного аппарата в верхние слои атмосферы.

Проведенные исследования показали высокую эффективность и перспективность МГД-способов управления обтеканием тел в условиях гиперзвуковых полетов в стратосфере. Экспериментальные

данные хорошо согласуются с результатами численных исследований при сходной постановке задачи [3, 4].

#### Список литературы

1. Fomin V.M. et al. // AIAA 2004-1193, 2004.
2. Fomichev V.P. et al. // 19th Int. Shock Interaction Symposium, 2010.
3. Fomichev V.P., Korotaeva T.A., Shashkin A.P., Yadrenkin M.A. // Proc. of the 17th Int. conference on MHD energy conversion., 2009. Paper IK1-3.
4. Bityurin V.A., Bocharov A.N. // Proc. of the 17th Int. conf. on MHD Energy Conversion., 2009. Paper IK1-1.

## THE EXPERIMENTAL STUDY OF MHD-CONTROL OF A HYPERSONIC FLOW AROUND BODIES

V.P. Fomichev, M.A. Yadrenkin

The experiments show that the local MHD-interaction in a hypersonic flow makes it possible to change the slope angle of the shock wave. The MHD-interaction over the thin plane transforms the attached shock wave to the detached normal shock.

*Keywords:* local MHD-interaction in a hypersonic flow, the shock wave slope angle alteration over the wedge and the plane.