

# Experimental Researches of Two Flat Halfwedges

**M.A. Kotov, L.B. Ruleva, S.I. Solodovnikov, S.T. Surzhikov**

*Institute for Problems in Mechanics Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow, 119526*

ma\_kotov@mail.ru

ruleva@ipmnet.ru

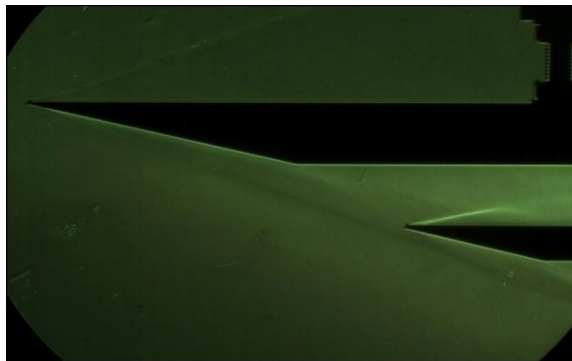
## Abstract

Supersonic flows around two flat halfwedges at Mach numbers  $M = 6\div 8$  are considered. The experimental data are shown.

Keywords: gas flow, model, halfwedges.



Flow models around two flat halfwedges without displacement. Then moving along the axis of the lower halfwedges.



The flows models in the development process.

УДК 539.9

# Экспериментальные исследования обтекания моделей в виде двух плоских полуклиньев

**М.А. Котов, Л.Б. Рулева, С.И. Солодовников, С.Т.Суржиков**

*Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук,  
Россия, Москва, 119526, проспект Вернадского, д.101-1  
ma\_kotov@mail.ru  
ruleva@ipmnet.ru*

## Аннотация

Рассмотрено обтекание моделей в виде двух плоских полуклиньев газовыми потоками на числах Маха  $M = 6\div 8$ . Приведены экспериментальные данные.

Ключевые слова: газовый поток, модель, полуклинья

## 1. Введение

Экспериментальные исследования по обтеканию моделей в виде двух плоских клиньев проводились на гиперзвуковой ударной аэродинамической трубе (ГУАТ) Института проблем механики (ИПМех) Российской академии наук (РАН) [1] при числах Маха  $M = 6\div 12$ . Ранее исследовались [2] модели: клин и полуклин с углами раствора  $10^\circ$  и  $5^\circ$ , соответственно, а также двух клиньев с кавернами. В настоящей работе экспериментально исследовались отражения ударных волн от острой кромки одного полуклина на другой. При этом модели смещались относительно друг друга для получения определенной конфигурации взаимодействия падающей и отраженной ударных волн. Такие эксперименты являются исследованием некоторых характеристик воздухозаборника гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА). В частности, процессы сжатия воздуха на кромке могут прекратить воспламенение или привести к локальному нагреву.

## 2. Изготовление и установка моделей в эксперименте

В лаборатории радиационной газовой динамики Института проблем механики РАН были изготовлены модели острых (угол раствора  $15^\circ$ ), плоских (шириной 70 мм) полуклиньев разной толщины: 21мм и 11.5 мм; а также кронштейн, позволяющий перемещать полуклинья в вертикальном и горизонтальном направлении. Модели были установлены в вакуумном блоке гиперзвуковой ударной аэродинамической трубе симметрично относительно оси сопла.

Первоначально передние кромки полуклиньев были расположены в одной плоскости. Затем, после серии экспериментов, нижний полуклин был смещен таким образом, чтобы ударная волна, отраженная от передней кромки верхнего полуклина падала на переднюю кромку нижнего полуклина. Такое расположение моделей в вакуумном блоке изображено на рис.1. На фото видно, что на нижнем полуклине нанесена разметка для нахождения положения в серии экспериментов, при котором ударная волна, отраженная от верхнего полуклина, точно попадет на переднюю кромку нижнего полуклина.

Описание установки ГУАТ приведено в [1]. Возможности экспериментально видеофиксировать ударно – волновые конфигурации, получаемые при обтекании моделей гиперзвуковыми потоками при разных числах Маха при одной инициации ударной волны изложены в [3, 4].



Рис.1. Схема установки полуклиньев в вакуумном блоке ГУАТ

### 3. Эксперименты на плоских полуклиньях

В серии экспериментов задавалось давление в камере высокого давления (КВД), равное 30 атм. Контроль давления в КВД осуществлялся с помощью электрического манометра и быстродействующего электромагнитного клапана. Камера низкого давления (КНД) откачивалась на вакуум до давления от 1 до 100 мбар, а вакуумная камера – до  $10^{-6}$  атм. Толкающий и рабочий газ – воздух. Высокочастотные сертифицированные активные датчики динамического давления РСВ 113В27 были установлены в середине КНД и в конце ее, у торца сопла, входящего в КНД. Выходное сечение сопла, диаметром 87 мм, расположено в вакуумной камере перед моделями. Критический диаметр сопла составляет 8 мм.

Обтекания моделей в виде двух полуклиньев проводилось при разном смещении нижнего полуклина относительно верхнего полуклина. На рис. 2 показан фрагмент теневой картины при положении нижнего полуклина без смещения.



Рис. 2. Обтекание полуклиньев без смещения

Сначала, при истечении воздушного потока из сопла на скорости  $M=7$ , определялась точка падения ударной волны. Нижний полуклин сдвигался в горизонтальной плоскости так, чтобы в следующих экспериментах падающая ударная волна отразилась от передней кромки нижнего полуклина. Приведенный эксперимент проводился многократно в описанной выше позиции, при сдвиге всей конструкции ближе и дальше от сопла, а также сдвиге по вертикали. Предполагая неравномерность, бочкообразность, истекающего из сопла воз-

душного потока, необходимо было убедиться, что исследуемые модели не попадут в области дозвуковых течений, а также для обеспечения гарантированного результата исследований. На рис.2 видно, что отраженная от верхнего полуклина ударная волна встречается с ударной волной, отраженной от нижнего полуклина. На данном фрагменте наблюдается нестационарное состояние ударно-волнового процесса.

При смещении нижнего полуклина в горизонтальном направлении было найдено положение, при котором ударная волна, отраженная от верхнего полуклина падает на переднюю кромку нижнего полуклина. Для данной конфигурации расстояние между кромками составило 109 мм .

На рис.3 показан фрагмент обтекания полуклиньев при приходе первичной ударной волны со смещением.

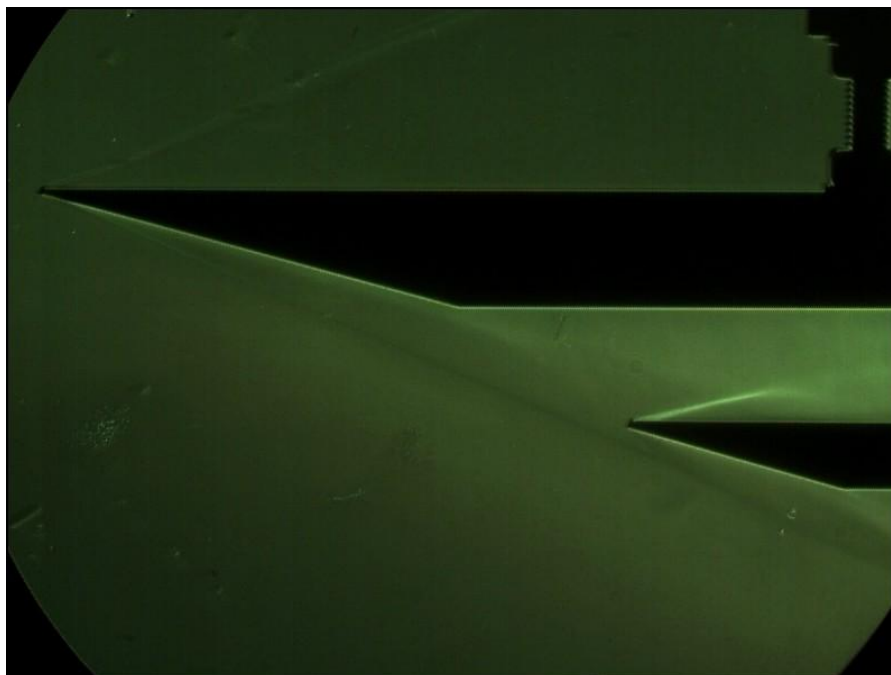


Рис. 3. Обтекание полуклиньев со смещением

Дальнейшее развитие процесса обтекания показано на рис.4.



Рис. 4. Обтекание полуклиньев со смещением в развитии

Можно видеть, что на нижней поверхности полуклина происходит сложение ударных волн, при этом части нижней поверхности подвергаются интенсивному воздействию.

Видеокадры экспериментов, показанные на рис.3 и рис.4, где модели – два острых полуклина, сдвинутые относительно друг друга, имитируют картину ударно – волнового взаимодействия плоского канала воздухозаборника гиперзвуковым потоком на числа Маха  $M=7$ .

На рис.5 приведены графики сигналов датчиков динамического давления, расположенных в ударной части ГУАТ.

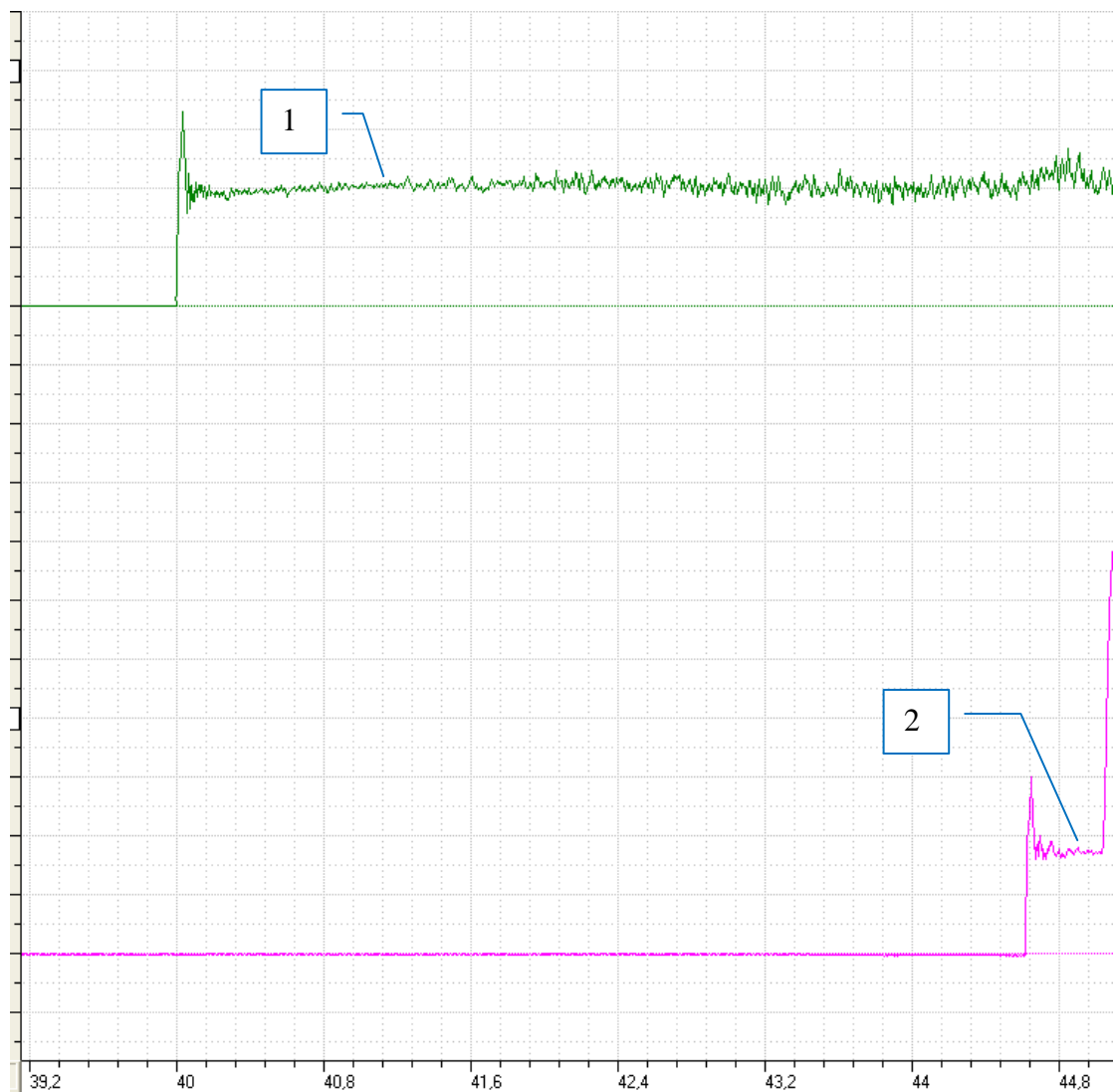


Рис.5. Графики сигналов датчиков динамического давления: 1– расположенного в центре КНД, 2– расположенного перед соплом.

Здесь сигналы связаны: 1 – с датчиком динамического давления в центре КНД (РСВ 113В27, с крутизной  $K=7.65$  мВ/кПа); 2 – с датчиком динамического давления (РСВ 113В27, с крутизной  $K=7.23$  мВ/кПа), установленном на входе в сопло. «Полочка» на нижнем графике отражает пробку уплотнения перед соплом.

#### 4. Эксперименты на плоских полуклиньях при наличии цилиндра

Для определения давления на периферии приведенной выше комплектации был установлен цилиндр с вмонтированными в него датчиками давления по схеме, приведенной на рис.6.

Целью такой схемы было измерить давление набегающего потока на модель.

Чувствительность датчиков на цилиндре оказалась недостаточной для этой цели, но картина обтекания группы моделей, представленной на рис.6, приведена ниже. На рис.7 изображен фрагмент видеоряда при начальной ориентации полуклиньев без смещения.

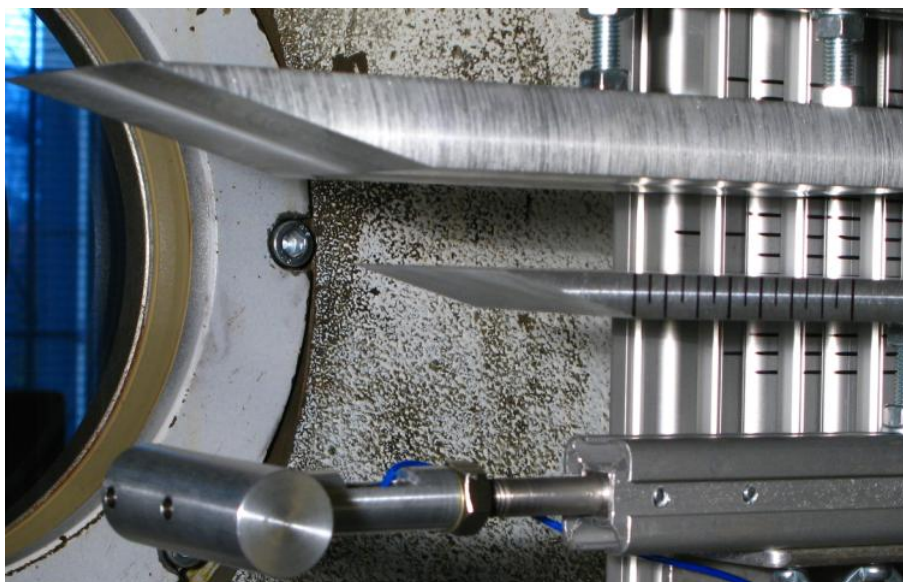


Рис.6. Схема двух полуклиньев с цилиндром на периферии



Рис.7. Фрагмент видеоряда: два полуклина без смещения с цилиндром

Фрагмент видеоряда обтекания клиньев со смещением, на котором видно отраженные ударные волны как от верхнего клина, так и от цилиндра, расположенного снизу, представлен на рис.8.

На рис. 9. приведены видеокadres экспериментов, в которых нижний полуклин – затуплен, с радиусом затупления 1.5 мм.



Рис.8. Фрагмент видеоряда: два полуклина смещенные и с цилиндром

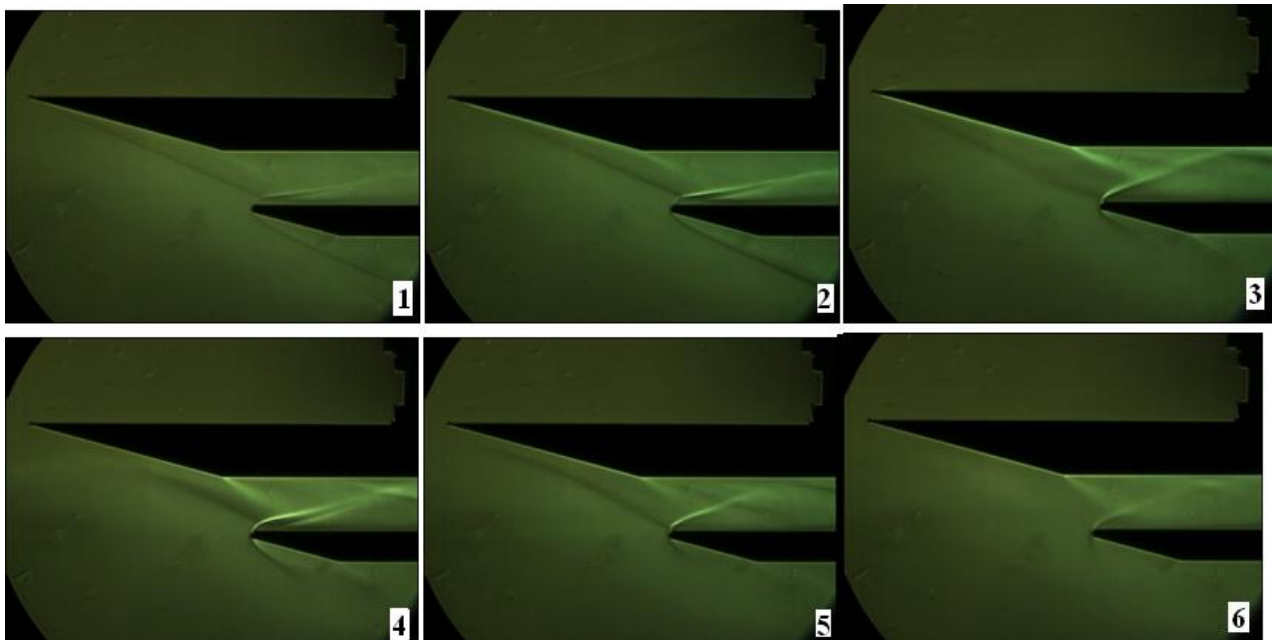


Рис. 9. Фрагменты ударно - волнового взаимодействия: два смещенные полуклина, нижний полуклин затупленный,  $M = 7$ .

Из видеоряда, состоящего из 4 тысяч кадров, на рис.9 представлены выборочные, последовательные по времени кадры. Видно как квазистационарный процесс становится не-

стационарным, затем опять сменяется квазистационарным. Суммарное время квазистационарных фрагментов составило около 30 мс.

Сравнивая рис.3 и рис.9 можно видеть, что у полуклина с затупленной кромкой, более имитирующего геометрию воздухозаборника ГЛА, структура течения другая: отраженная волна мощнее, веер волны разряжения больше. Ударно-волновая картина обтекания моделей (рис.9) показывает моменты суммирования ударных волн, отраженных от кромок моделей, которые «запирают» поток и могут привести к локальному нагреву в продольном канале реального воздухозаборника.

## 5. Заключение

В лаборатории радиационной газовой динамики изготовлены модели острых и затупленных полуклиньев разной толщины с углами раствора  $15^0$ . Проведена серия экспериментов по обтеканию данных моделей гиперзвуковым потоком на числах Маха  $M=7$ . В данных экспериментах получена ориентация полуклиньев относительно друг друга при длине смещения 109 мм, при которой отраженная от верхнего полуклина ударная волна падает на переднюю кромку нижнего полуклина.

Полученная визуализация обтекания двух полуклиньев дают картину областей стационарного и нестационарного течения во времени, характер воздействия отраженной ударной волны, что позволяет аппроксимировать данные процессы на воздухозаборник ГЛА [5].

Экспериментальные работы на гиперзвуковой ударной аэродинамической трубе выполнены по Программам фундаментальных исследований РАН «Аэротермодинамика и навигация гиперзвуковых летательных аппаратов».

## Список обозначений

ГУАТ – гиперзвуковая ударная аэродинамическая труба;

ГЛА – гиперзвуковой летательный аппарат;

КВД – камера высокого давления;

КНД – камера низкого давления;

M – число Маха.

## Литература

1. Котов М.А., Рулева Л.Б., Солодовников С.И., Суржиков С.Т. Проведение экспериментов по обтеканию моделей в гиперзвуковой ударной аэродинамической трубе // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2013. Т.14, вып.4. 6с. <http://chemphys.edu.ru/issues/2013-14-4/articles/428/>
2. Котов М.А., Рулева Л.Б., Солодовников С.И., Суржиков С.Т. Исследование ударно-волновых процессов обтекания клиновидных моделей с кавернами в гиперзвуковой ударной аэродинамической трубе. // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2014. Т.15, вып.3. 5с. <http://chemphys.edu.ru/issues/2014-15-3/articles/223/>
3. Рулева Л.Б., Котов М.А., Солодовников С.И. Патент на полезную модель № 152348. Гиперзвуковая ударная аэродинамическая труба. 2015 г.
4. Рулева Л.Б., Котов М.А., Солодовников С.И. Патент на полезную модель № 153905. Импульсная аэродинамическая установка. 2015 г.
5. S.T. Surzhikov, R.K. Seleznev, P.K. Tretjakov, V.A. Zabaykin. Unsteady Thermo-Gasdynamics Processes in Scramjet Combustion Chamber with Periodical Input of Cold Air // AIAA 2014-3917, 50th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 2014.

Статья поступила в редакцию 25 декабря 2015 г.