

03;12

Потери полного давления в потоке за ударной волной, выходящей из каналов различной геометрии

© Т.В. Баженова, Т.А. Бормотова, В.В. Голуб,
А.Л. Котельников, А.С. Чижиков

Институт теплофизики экстремальных состояний
Объединенного института высоких температур РАН, Москва
E-mail: bazhenova@hedric.msk.su

Поступило в Редакцию 7 марта 2001 г.

Приведены результаты экспериментального исследования потерь полного давления в потоке за ударной волной, выходящей из открытого конца каналов круглого и квадратного поперечного сечения. Установлено, что полное давление за волной торможения при истечении из канала с квадратной формой поперечного сечения меньше, чем при истечении из канала с круглой формой поперечного сечения.

При выходе ударной волны из канала картина течения изменяется во времени неавтоматически. В трехмерном случае, например при выходе из канала квадратного сечения, взаимодействие волн разрежения и скачков уплотнения создает сложное нестационарное трехмерное поле течения и структура потока изменяется по-разному в разных направлениях [1,2]. Исследовано воздействие на преграду ударных волн, выходящих из канала круглого сечения, при дозвуковом [3] и сверхзвуковом [4] потоке за падающей ударной волной. В работе [5] указано на возможность управления импульсом давления на преграде путем частичного перекрытия выхода из канала. Как показано в работе [2], при выходе ударной волны из канала квадратного сечения объем нестационарной "бочки" и степень расширения в ней газа больше, чем при выходе из канала круглого сечения и чем в эквивалентной стационарной струе. Следует ожидать, что увеличение числа Маха потока перед волной торможения при истечении из канала квадратного сечения должно сопровождаться большими потерями на скачке и относительным уменьшением полного давления за волной торможения.

Для исследования выхода ударных волн из каналов использовалась установка, состоящая из ударной трубы, соединенной с цилиндрической вакуумной камерой. На торце ударной трубы устанавливался фланец с каналом круглого или квадратного сечения, располагающимся внутри трубы. Торцевой ударной трубы с фланцем, поверхность которого образовывала со стенкой ударной трубы угол 90° , размещался напротив плоскопараллельных оптических окон барокамеры. Камера низкого давления и барокамера наполнялись воздухом при начальном давлении 4 кПа. Скорость падающей ударной волны измерялась базовым методом датчиками давления с точностью до 1%. Проводились измерения изменения давления во времени на преграде, расположенной перпендикулярно оси потока, датчиком давления "Kistler-603B". Калибровка датчика производилась в закрытом торце ударной трубы с точностью до 5%. Визуализация картины течения производилась с помощью теневого прибора и оптомеханической высокоскоростной камеры. На теплереограммах видно, что после выхода ударной волны из канала в потоке система косых скачков и волны торможения образует бочкообразную структуру, подобную возникающей в недорасширенной сверхзвуковой струе. Известно [6], что при формировании сверхзвуковой струи расстояние от среза сопла до волны торможения увеличивается со временем на ранних стадиях, а затем после нескольких колебаний волна торможения занимает стационарное положение и превращается в диск Маха. Эта стадия не могла наблюдаться в наших опытах, так как объем газа, сжатого ударной волной в ударной трубе, был ограничен. Координата волны торможения непрерывно увеличивалась и в несколько раз превышала расчетное стационарное значение.

С целью определения зависимости потерь полного давления за волной торможения от числа Маха падающей ударной волны были проведены измерения давления на преграде, расположенной перпендикулярно оси потока на расстоянии 4.5 калибра от среза канала. Для сравнения изменения полного давления при выходе ударной волны из каналов круглого и квадратного сечений расстояния от среза канала до преграды были определены условием их равенства в эффективных калибрах (для квадратного сечения — это диаметр круга, эквивалентного по площади). Серия теплереограмм позволяет проследить развитие взаимодействия с плоской преградой дифрагированной ударной волны и потока за ней. Отраженная ударная волна распространяется вверх по потоку, взаимодействует с контактной поверхностью и волной торможе-

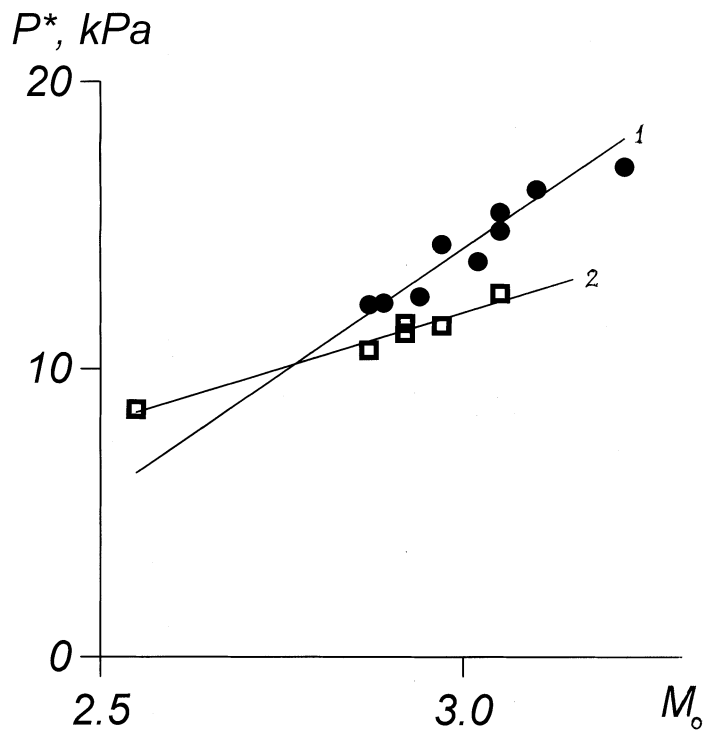


Рис. 1. Зависимость полного избыточного давления за волной торможения от числа Маха падающей ударной волны при истечении из каналов с круглой (1) и квадратной (2) формой поперечного сечения.

ния. Волна торможения занимает стационарное положение. Расстояние отхода волны торможения от преграды для квадратного сечения меньше, чем для круглого.

На осциллограммах давления можно выделить следующие участки: ступенька давления — ”пик”, соответствующий взаимодействию дифрагированной ударной волны с преградой, и квазистационарный участок — ”полка”, соответствующий взаимодействию с преградой потока за контактной поверхностью. Измеренное полное давление на ”полке” за волной торможения при истечении из канала с круглой

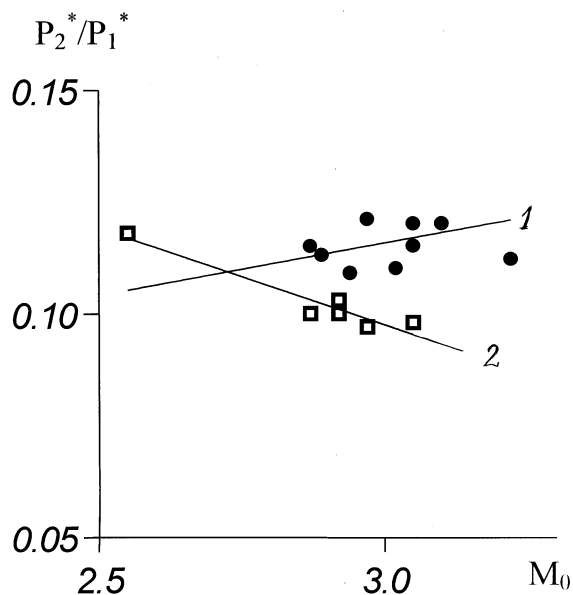


Рис. 2. Коэффициент восстановления полного давления за волной торможения при истечении из каналов с круглой (1) и квадратной (2) формой поперечного сечения.

формой поперечного сечения оказалось больше, чем при истечении из канала с квадратной формой поперечного сечения. С ростом числа Маха это различие увеличивается (рис. 1).

Отношение полного давления за волной торможения на преграде P_2^* к полному давлению на срезе канала P_1^* (коэффициент восстановления) характеризует потери полного давления на системе скачков уплотнения, возникающих при взаимодействии с преградой дифрагированной ударной волны и потока за ней. Полное давление потока на срезе канала определяется по числу Маха спутного потока за падающей ударной волной, которое является известной функцией от начального числа Маха ударной волны и растет с его увеличением. Коэффициент восстановления по-разному зависит от числа Маха падающей ударной волны в каналах с различным сечением (рис. 2).

Таким образом, эксперименты показали, что потери полного давления за волной торможения при истечении из канала с круглой формой поперечного сечения меньше, чем при истечении из канала с квадратной формой поперечного сечения. С увеличением числа Маха падающей ударной волны коэффициент восстановления полного давления в первом случае возрастает, а во втором уменьшается.

Установленные закономерности открывают возможность управления полным давлением в потоке при выходе ударной волны из канала путем изменения формы его поперечного сечения. Это представляет практический интерес в широком классе технических приложений, таких как уменьшение шума выхлопа автомобильного двигателя, очистка котлов от нагара, удаление пыли с поверхности чипов в микроэлектронике [7,8].

Список литературы

- [1] *Баженова Т.В., Голуб В.В., Бормотова Т.А.* и др. // МЖГ. 1999. № 3. С. 114–120.
- [2] *Баженова Т.В., Голуб В.В., Бормотова Т.А.* и др. // ТВТ. 2001. № 1. С. 123–127.
- [3] *Панов Б.Ю., Старшинов А.И., Угрюмов Е.А.* // Газодинамика и теплообмен. Л., 1970. В. 1. С. 108–115.
- [4] *Баженова Т.В., Голуб В.В., Базаров С.В.* и др. // МЖГ. 1999. № 4. С. 110–115.
- [5] *Баженова Т.В., Голуб В.В., Бормотова Т.А.* и др. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 15. С. 32–38.
- [6] *Белавин В.А., Голуб В.В., Набоко И.М.* // ПМТФ. 1979. № 1. С. 56–65.
- [7] *Yu Q., Gronig H.* // Shock Waves. 1996. N 6. P. 249–258.
- [8] *Smedley G.T., Phares D.G., Flagan R.C.* // Experiments in fluids. 1999. V. 26. N 1/2. P. 116–125.