

**ПОДАВЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ УДАРНЫХ ВОЛН ПРИ
НАТЕКАНИИ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУИ НА ПРЕГРАДУ
ИНИЦИИРОВАННИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА**

Б.В. Постников, К.А. Ломанович

*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
630090, Новосибирск, Россия*

При взаимодействии сверхзвуковой газовой струи с плоской осесимметричной преградой, в зависимости от газодинамических параметров потока и геометрии преграды, могут быть реализованы различные виды неустойчивого течения. Существует два основных механизма, описывающие нестационарное обтекание плоской непроницаемой преграды сверхзвуковым потоком [1-4]. Первый механизм возникновения автоколебаний обусловлен наличием внешней акустической обратной связи [1-2]. Этот механизм реализуется вследствие потери устойчивости течения к малым возмущениям, когда звуковая волна, порожденная границей верной струи, распространяется в сторону сопла, взаимодействует со струей и порождает в ней возмущение. Распределение давлений на поверхности преграды имеет колоколообразную форму с максимумом в центре преграды и минимумом на периферии. Второй механизм обусловлен возникновением внутренних вихревых течений в сжатом слое струи [3-4]. В этом случае вблизи поверхности преграды наблюдаются течения, направленные от периферии к центру преграды. Создаются благоприятные условия для прилипания тангенциального разрыва к поверхности. Распределение давлений на поверхности преграды имеет максимум в точке прилипания тангенциального разрыва с падением давления при смещении к периферии и центру преграды. При определенных условиях вблизи пористых преград также развиваются режимы течения с автоколебаниями ударных волн.

В последнее время активно развиваются новые способы магнитоплазменного управления газовыми потоками [5-7]. В настоящей работе исследовано воздействие плазмы электрического разряда постоянного тока, инициированного вблизи границы сверхзвуковой струи, на смену газодинамических режимов ударно-волнового обтекания сплошной осесимметричной преграды. В экспериментах с проницаемыми материалами преграда изготавливалась из высокопористого ячеистого материала (ВПЯМ).

Экспериментальные исследования были проведены на струйных установках периодического действия со временем установившегося течения продолжительностью до одной минуты. Число Рейнольдса по диаметру кромки сопла составляло $Re = 5 \cdot 10^5$, числа Маха на выходе из сопла для перерасширенных струй $M=3,0$ и $3,25$, для недорасширенных струй – $M=1,0$. Параметр нерасчетности n варьировался от 0,9 до 40. Вблизи кромки сопла за пределами струи на двух разрядных промежутках, расположенных симметрично относительно оси струи, инициировался дуговой разряд. Величина измеренного тока на одном разрядном промежутке 50–60 А и напряжение 25-30 В. Время горения разряда составляло 0,5 с. Визуализация ударно-волновой структуры струи осуществлялась при помощи теневого прибора с адаптивным визуализирующим транспарантом. Полученное изображение регистрировалось скоростной цифровой видеокамерой с максимальной частотой регистрации изображений до $24 \cdot 10^3$ к/с. Регистрация поля скоростей в струе осуществлялась посредством цифровой трассерной визуализации Particle Image Velocimetry (PIV). Маркерами служили пары глицерина.

Для измерения распределения давления была изготовлена алюминиевая преграда с дренажными отверстиями, которые при помощи пневматических трасс были соединены с тензометрическими датчиками давления. Сигнал с датчиков давления и вольт-амперные характеристики разряда регистрировались при помощи осциллографов и аналогово-цифровых преобразователей.

Новый способ «плазменного» управления сверхзвуковыми струйными течениями, натекающими на преграду различной проницаемости, позволяет стабилизировать течение путем инициирования электрического разряда вблизи кромки сопла, за пределами струи. Измерения распределения давления на сплошной преграде показали, что электрический разряд оказывает воздействие на развитие автоколебательного процесса как по механизму с внешней акустической обратной связью, так и с внутренней, когда происходит взаимодействие рециркуляционного течения с тепловым следом разряда. Продемонстрирована применимость данного способа управления для перерасширенных и недорасширенных сверхзвуковых струй.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазнев В.Н., Запрягаев В.И., Усков В.Н. и др. Струйные и нестационарные течения в газовой динамике. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 200 с.
2. Глазнев В.Н. О механизме обратной связи в автоколебаниях при натекании сверхзвуковой недорасширенной струи на плоскую преграду // ПМТФ, 1991, № 4, С. 59-63.
3. Гинзбург И.П., Семилетенко Б.Г., Терпигорьев В.С., Усков В.Н. Некоторые особенности взаимодействия сверхзвуковой недорасширенной струи с плоской преградой // ИФЖ, 1970, Т. 19, № 3, С. 412–417.
4. Семилетенко Б.Г., Собколов Б.Н., Усков В.Н. Схема ударно-волновых процессов при неустойчивом взаимодействии струи с преградой // Изв. СО АН СССР, Серия тех. наук, 1972, № 13, Вып. 3. С. 39–41.
5. Bletzinger P., Ganguly B.N., VanWie D. and Garscadden A. Plasmas in High Speed Aerodynamics // J. Phys. D: Appl. Phys. 2005, 38, R33–R57.
6. Moreau E. Airflow Control by Non-thermal Plasma Actuators // J. Phys. D: Appl. Phys., 2007, 40, 605–636.
7. Proceedings of Workshops on Magneto-Plasma Aerodynamics in Aerospace Applications, 2008-2014, Moscow, IVTAN.