

ОСОБЕННОСТИ ОБТЕКАНИЯ СВЕРХЗВУКОВЫМ ПОТОКОМ МОДЕЛИ ПРЯМОГО УСТУПА С ГАЗОПРОНИЦАЕМЫМИ ВСТАВКАМИ

Б.В. Постников, К.А. Ломанович

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

При изготовлении аэродинамических поверхностей летательных аппаратов различного назначения в большинстве случаев невозможно исключить геометрические неоднородности поверхности, имеющие типовую геометрию прямых и обратных уступов. Как следствие вблизи поверхности возникают источники дополнительных тепловых и аэродинамических нагрузок. При обтекании прямого уступа основной особенностью течения, помимо головного скачка уплотнения, является наличие скачка уплотнения, обусловленного отрывом, а также рециркуляционной зоны. Наличие возвратного течения может приводить не только к локальному нагреву поверхности при высокоскоростном обтекании угловых конфигураций, но и к развитию нежелательных режимов автоколебаний ударно-волновой структуры и самой области возвратного течения, сопровождаемых интенсивным акустическим излучением. Один из способов решения данной проблемы может стать применение пористых материалов с высокой газопроницаемостью. Таким свойством обладают высокопористые проницаемые ячеистые материалы (ВПЯМ), которые широко применяются в химической промышленности, где благодаря развитой структуре поверхности используются как носитель катализатора при проведении гетерогенных химических реакций.

Представлены результаты экспериментального и численного исследования особенностей течения в угле сжатия прямого уступа при размещении перед ним газопроницаемой вставки. Модель уступа располагалась на плоской пластине в которой был выполнен газопроницаемый участок перфорированием отверстиями или размещением в сквозном вырезе пластины вставки из ВПЯМ. Диапазон изменения пористости вставки составлял от 0.03 до 0.95. Обтекание модели сверхзвуковым потоком исследовалось при числах Маха $M=2.0$; 2.5; 3.0 и числе Рейнольдса $Re=5 \cdot 10^5$. Визуализация течения вблизи угла сжатия проводилась посредством сочетания теневого метода, PIV и нанесения на поверхность модели саже-масляной пленки. Для регистрации изображений применялась высокоскоростная фотосъемка. Используемые экспериментальные техники позволили определить положение точки отрыва и поле скоростей вблизи внутреннего угла. Показано уменьшение величины характерного размера области рециркуляционного течения перед ступенью с увеличением пористости. Проведено численное моделирование обтекания экспериментальной модели со вставкой из ВПЯМ в двумерной вязкой постановке с использованием модели турбулентности Спаларта-Аллмараса для числа Маха $M=2.0$. Пористая вставка моделировалась как пористая среда, в которой потеря импульса учитывалась вследствие высокой проницаемости инерциальным членом в уравнении Дарси-Форхгеймера. Получено удовлетворительное согласие ударно-волновой картины течения с экспериментом, критерием которого служила величина подъема ножки головной ударной волны. Данные численных расчетов позволили построить поле скоростей в пористой области и сделать вывод о наличии внутреннего возвратного течения внутри пористой вставки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №16-08-00745).