

УДК 532.526.3

## СТАБИЛИЗАЦИЯ ГИПЕРЗВУКОВОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ С ПОМОЩЬЮ ПАССИВНЫХ ПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ

© 2011 г.

*А.Н. Шиплюк, С.В. Лукашевич*

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

shipluk@itam.nsc.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Представлены результаты экспериментального исследования влияния толщины пассивного пористого покрытия на развитие естественных возмущений в гиперзвуковом пограничном слое на модели острого конуса при числе Маха  $M_\infty = 6$  и нулевом угле атаки. Показано, что существует оптимальная толщина пассивного пористого покрытия, соответствующая максимальной стабилизации возмущений второй моды.

*Ключевые слова:* гиперзвуковой пограничный слой, пассивное пористое покрытие, возмущения второй моды, устойчивость.

### Введение

Как известно, возмущения второй моды относятся к семейству захваченных акустических волн, распространяющихся в волноводе (пограничном слое), и при гиперзвуковом обтекании тела являются наиболее неустойчивыми. Расчеты по линейной теории устойчивости [1] показали, что пассивное пористое покрытие частично поглощает энергию возмущений второй моды, что способствует задержке ламинарно-турбулентного перехода. Экспериментальные исследования [1–5] показали хорошее количественное соответствие с расчетными данными и подтвердили концепцию применения пассивного пористого покрытия для стабилизации гиперзвукового пограничного слоя. Из расчетов следует сильная зависимость эффекта стабилизации от толщины пористого покрытия [1].

В настоящей работе экспериментально исследовалось влияние толщины пассивного пористого покрытия на развитие возмущений второй моды.

### Условия эксперимента

Эксперименты проведены в аэродинамической трубе кратковременного действия Транзит-М ИТПМ СО РАН. Число Маха набегающего потока составляло  $M = 6$ , число Рейнольдса  $Re_{l_\infty} = (2.6, 4.6, 6.6) \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$ , температура торможения  $T_0 = 360 \pm 5 \text{ К}$ , температура поверхности модели  $T_w = 295 \pm 1 \text{ К}$ , угол атаки  $\alpha = 0^\circ \pm 2'$ .

Экспериментальная модель выполнена в виде острого конуса с полууглом раскрытия  $7^\circ$  и длиной  $L = 0.42 \text{ м}$ . На расстоянии  $0.355 \text{ м}$  от носика

располагалась вставка протяженностью  $l = 30 \text{ мм}$  с пористыми участками различной толщины. Для экспериментального определения степеней нарастания естественных возмущений измерялись пульсации давления на поверхности модели в двух точках: до и после вставки при помощи высокочастотных датчиков давления 132A31 производства PCB (США). Пористая поверхность состояла из плетеной сетки, изготовленной из металлической проволоки диаметром  $d = 0.05 \text{ мм}$ , ширина отверстия сетки  $w = 0.1 \text{ мм}$ , пористость  $S = 44\%$ . Для образования пористого покрытия различной толщины сетки накладывались друг на друга, каждый новый слой повернут на угол  $45^\circ$  относительно предыдущего. Таким образом, получены пористые покрытия толщиной  $h = 0.11, 0.18, 0.27, 0.36, 0.43 \text{ мм}$ .

### Результаты

Получены спектры пульсации давления на поверхности конуса в двух точках  $x_1$  и  $x_2$  для различных толщин пористого покрытия и трех чисел Рейнольдса. По измеренным спектрам вычислены степени роста.

На рис. 1 показаны зависимости степени роста от толщины пористого покрытия для частот, соответствующих максимальной амплитуде возмущений второй моды, где  $h^* = h/\delta^*$  – безразмерная толщина пористого покрытия, нормированная на расчетную толщину вытеснения пограничного слоя  $\delta^*$ . Нулевая толщина соответствует сплошной поверхности. Видно, что минимум степеней роста достигается при толщинах пористого покрытия

$$h^* = 0.07-0.08 \text{ для } Re_{1\infty} = (2.6 \text{ и } 4.6) \cdot 10^6 \text{ м}^{-1},$$

$$h^* = 0.09-0.14 \text{ для } Re_{1\infty} = 6.6 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}.$$

Значение  $Re_{1\infty} = 6.6 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$  соответствует началу ламинарно-турбулентного перехода, однако эффективность стабилизации второй моды пористым покрытием сохраняется.

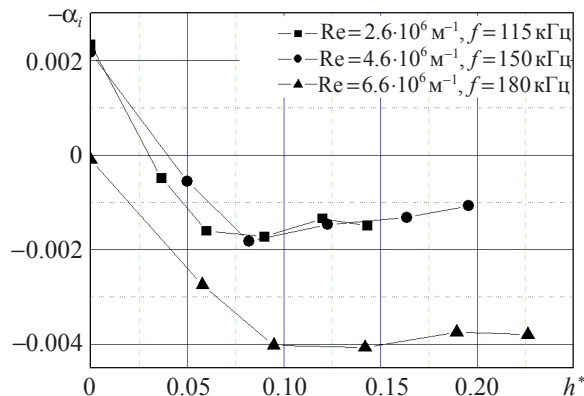


Рис. 1

При дальнейшем увеличении толщины пористого покрытия значения степени роста немного увеличиваются и практически не зависят от тол-

щины пористости. Таким образом, можно говорить о существовании оптимальной толщины пористого покрытия, при которой происходит максимально эффективная стабилизация второй моды возмущений.

#### Список литературы

1. Fedorov A.V., Malmuth N.D., Rasheed A., Horing H.G. Stabilization of hypersonic boundary layers by porous coatings // AIAA Journal. 2001. Vol. 39, No 4. P. 605–610.
2. Fedorov A.V. et al. Stabilization of a hypersonic boundary layer using an ultrasonically absorptive coating // Journal of Fluid Mechanics. Vol. 479. 2003. P. 99–124.
3. Fedorov A.V. et al. Stability of hypersonic boundary layer on porous wall with regular microstructure // AIAA. 2003. P. 2003–4147.
4. Maslov A.A. et al. Hypersonic laminar flow control using a porous coating of random microstructure. AIAA. 2006. P. 2006–1112.
5. Бунтин Д.А., Лукашевич С.В., Маслов А.А., Шиплюк А.Н. Влияние затупления носовой части конуса и ультразвук-поглощающего покрытия на переход в гиперзвуковом пограничном слое // Изв. РАН. МЖГ. 2010. № 6. С. 74–81.

## STABILIZATION OF A HYPERSONIC BOUNDARY LAYER USING PASSIVE POROUS COATINGS

A.N. Shipluk, S.V. Lukashevich

Experimental results of investigating the effect of the thickness of a passive porous coating on the development of natural disturbances in a hypersonic boundary layer, using the model of a sharp cone for the zero angle of attack and Mach number of  $M = 6$ , are presented. An optimal thickness of the porous coating providing the maximum stabilization effect of second mode disturbances is shown to exist.

*Keywords:* hypersonic boundary layer, passive porous coating, second mode disturbances, stability.