ВЛИЯНИЕ СУБЛИМАЦИИ МАТЕРИАЛА С ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИНЫ НА ПАРАМЕТРЫ ТЕЧЕНИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ СВЕРХЗВУКОВОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

С.А. Гапонов, А.Н. Семенов, Б.В. Смородский

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

Прямым численным моделированием и на основе уравнений пограничного слоя рассчитаны параметры сверхзвукового пограничного слоя на плоской пластине при сублимации материала с поверхности пластины при числе Маха M=2. В качестве сублимирующего вещества принят нафталин ($C_{10}H_8$). Сопоставление результатов численного моделирования и полученных на основе локально автомодельного пограничного слоя показало удовлетворительное соответствие данных двух методов.

Расчетами установлено, что повышение температуры торможения потока приводит к нагреванию обтекаемой теплоизолированной поверхности пластины, в результате чего масса испарения нафталина увеличивается. Это в свою очередь приводит к тому, что температура стенки понижается в сравнении со случаем обтекания пластины без сублимирующего покрытия. Превышение в несколько раз молекулярного веса нафталина над молекулярным весом воздуха и понижение температуры поверхности в результате испарения материала покрытия приводят к повышению плотности бинарной смеси воздуха и паров сублимирующего вещества вблизи обтекаемой поверхности, что может привести к повышению устойчивости сверхзвукового пограничного слоя и к затягиванию его перехода в турбулентное состояние.

Устойчивость рассматриваемого пограничного слоя бинарной смеси газов решалась в приближении локальной параллельности течения. Было установлено, что инжекция паров примеси с большим молекулярным весом в пристенный подслой пограничного слоя вследствие испарения материала поверхности приводит к заметному снижению локальных скоростей усиления линейных возмущений на теплоизолированной поверхности. Это влияние усиливается при увеличении температуры торможения потока, что приводит к интенсификации сублимации нафталина. Наиболее сильно стабилизация пограничного слоя проявляется при таких режимах обтекания, когда температура теплоизолированной поверхности модели близка к температуре тройной точки материала сублимирующего покрытия (в настоящей работе расчеты проводились только для нафталина, $C_{10}H_8$). Расчетами кривых нарастания амплитуд возмущений, проведенными в соответствии с известным методом e^N установлена принципиальная возможность затягивания ламинарно-турбулентного перехода. Так, в потоке с температурой торможения 392 К рассчитанное по методу e^N число Рейнольдса перехода увеличивается более чем вдвое за счет применения сублимирующего нафталинового покрытия. Это означает значительную стабилизацию пограничного слоя и более чем четырехкратное увеличение протяженности ламинарного течения в сверхзвуковом пограничном слое на плоской пластине с нафталиновым покрытием.

Работа поддержана РФФИ (проект №18-01-00070а).

© С.А. Гапонов, А.Н. Семенов, Б.В. Смородский, 2019