

с действующими силами трения при осадке эластичного инструмента.

В целях определения технологических возможностей разделительных процессов с реализацией «открытых» схем деформационного воздействия эластоплимерной среды на заготовку проведено конечно-элементное математическое моделирование различных методов раскроя. В результате численных исследований получены эпюры распределения нормального контактного давления эластичного элемента оснастки с листовой заготовкой в зависимости от значений конструктивно-технологических факторов процесса.

Анализ эпюр нормального давления показал, что при максимальном нагружении эластичного элемента (до 30...35% сжатия по высоте) и при оптимальных значениях конструктивно-технологических факторов контактное давление достигает значений в пределах 150...200 МПа (в 2/3 контактной зоны) и в пределах 120...140 МПа на периферии – наблюдается определенная неравномерность.

Для выравнивания уровня контактного давления проводились дополнительные численные исследования для эластичных элементов с внутренней конусностью. Равномерность контактного давления удалось достичь при значениях угла конусности эластичного элемента в пределах 0,5...1,0°. При этом уровень значений контактного давления незначительно снизился на 7...20%.

Для проверки адекватности математической модели и результатов численных исследований были проведены экспериментальные исследования по

замеру нормального контактного давления на реальной штамповой оснастке. По результатам экспериментальных исследований построены соответствующие математические модели экспериментов в виде уравнений регрессии, с помощью которых были построены экспериментальные эпюры распределения нормального контактного давления эластичной матрицы с листовой заготовкой. Характер и уровень значений эпюр аналогичен полученным в численных исследованиях. Сходимость результатов 15...20%. Это подтверждает адекватность разработанной конечно-элементной математической модели реальному процессу.

Для практического использования результатов исследований построены диаграммы распределения нормального давления эластомера по площади его контакта с заготовкой в зависимости: от масштабного фактора эластичного инструмента; уровня рабочего давления; геометрической формы эластичного инструмента и др. конструктивно-технологических факторов разделительных процессов. Наличие подобных диаграмм распределения давления по площади эластоплимерной матрицы позволяет оценить возможность выполнения разделительных операций тем или иным способом при врубке деталей различного геометрического контура широкого диапазона толщин и марок материалов. А также позволяет подобрать необходимое прессовое оборудование и сформулировать технические условия на проектирование оснастки.

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОНИЦАЕМЫХ ГРАНИЦ В ЗАДАЧАХ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ АЭРОГИДРОДИНАМИКИ

© 2012 Гувернюк С.В.

НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

SIMULATION OF PERMEABLE BOUNDARIES IN PROBLEMS OF EXTERNAL AND INTERNAL AERO-HYDRODYNAMICS

© 2012 Guvernuyuk S.V.

The closed system of boundary conditions on the permeable surface is formulated. We considered the penetration of the jet of fluid through a permeable screen, the flow over cavity with a permeable cover, supersonic flow past perforated bodies.

Газодинамика тел с проницаемыми границами является одной из трудных задач математического и численного моделирования в механике жидкостей и газов. Возникая во многих актуальных приложениях, проблема выбора системы граничных условий на поверхности разрыва, моделирующей проницаемую границу, еще содержит ряд вопросов, особенно в случаях, когда проницаемая поверхность является внутренней границей течения и возникает необходимость введения внутренних поверхностей разрыва [1-4].

В случае эффективно несжимаемых течений доказано, что даже при использовании модели идеальной жидкости в общем случае такие разрывы должны быть поверхностными источниками объемной завихренности в поток [1-2]. Выведены общие формулы для вычисления прироста завихренности на проницаемой границе через распределения градиента нормальной и касательной составляющих скорости потока на внешней стороне разрыва. Это фундаментальное свойство позволяет объяснить наблюдаемые в экспериментах факты сильного влияния проницаемых перегородок в каналах на структуру отрывных течений. На рис. 1. дан пример точного решения задачи о проникании струи идеальной жидкости через проницаемый экран, являющийся поверхностью "склейки" потенциального и завихренного течений (свободная струя не может полностью пройти сквозь проницаемый экран). Численно, методом вязких вихревых доменов исследовано влияние проницаемой поверхности на устойчивость сдвигового слоя над каверной в плоской стенке, рис. 2.

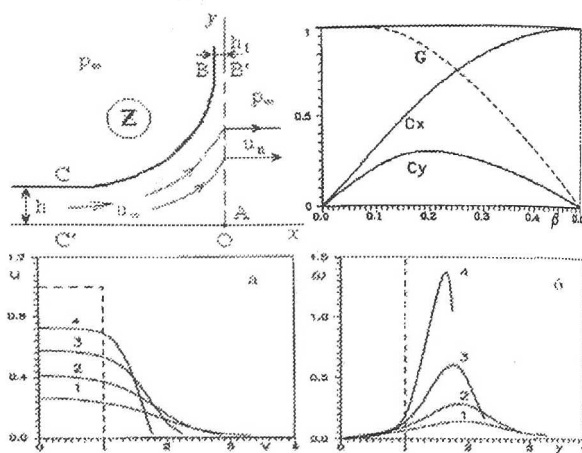


Рис. 1. Распределение продольной скорости (а) и завихренности (б) в просочившемся потоке при различной степени проницаемости экрана β .

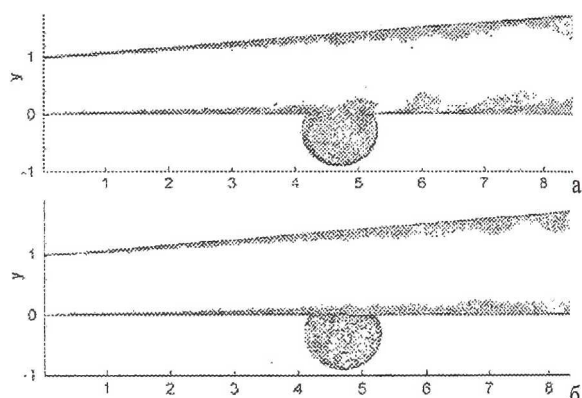


Рис. 2 Течение в канале с открытой каверной (а) и при наличии проницаемой крышки (б), $Re=5600$.

В случае сжимаемых течений обнаруживается большое разнообразие возможных схем взаимодействия и возникает ряд трудностей задания полной системы граничных соотношений, отвечающих требованиям эволюционности разрыва. Принципиальное отличие проблемы замыкания системы граничных условий на скачках рассматриваемого типа от классической теории разрывов в сплошных средах, состоит в том, что здесь неприменим метод получения "дополнительных" соотношений из рассмотрения "структуры разрыва", то есть построения "размазывающего" скачок непрерывного решения за счет перехода к усложненной модели сплошной среды в тонком промежуточном слое (поскольку материальная проницаемая граница все равно остается в составе структуры).

Построена качественная теория адиабаты проницаемой поверхности [3]. Соответствующее геометрическое отображение адиабаты в параметрической плоскости содержит 4 ветви различной размерности (точка, кривая, конечная область). На этой основе предсказаны и обнаружены экспериментально режимы двойного запираия и режим свободногвзаимодействия, отвечающего двумерной ветви ударной адиабаты, когда любое дополнительное граничное “условие просачивания” будет избыточно и сделает неразрешимой краевую задачу обтекания.

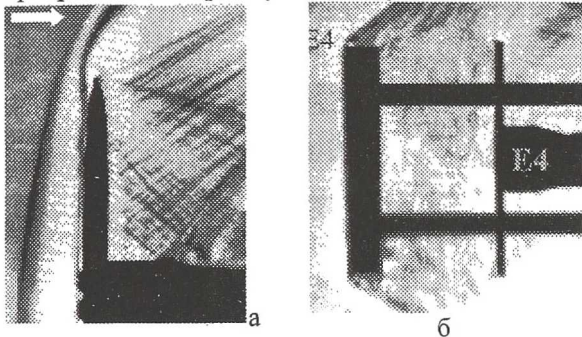


Рис. 3. Пример реализации режимов двойного запираия (а) и «свободного взаимодействия» (б).

Физические константы, характеризующие режимы простого и двойного запираия определяются по специальным экспериментальным методикам волновой диагностики газопроницаемых материалов, рис.4.

При наклонном взаимодействии с потоком следует различать типы перфорации 1-го и 2-го рода. Тип проницаемости первого рода может обеспечиваться, например, за счет перфорации в виде продольных щелей или приотносительно большом диаметре отверстий в тонкостенном экране. Последнее характерно для конструктивного типа проницаемости купола парашюта.

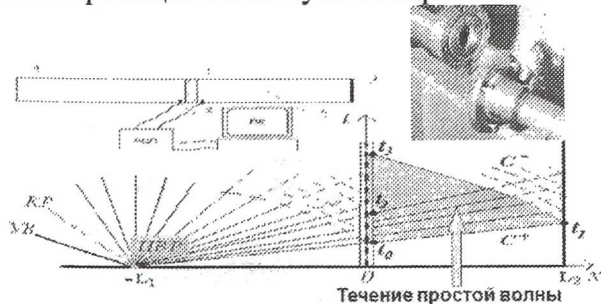


Рис.4. Экспериментальная установка и схема волновой диагностики газопроницаемых материалов.

Второй тип перфорации, характеризуется так называемым направляющимдействием, когда реализуется фиксированный угол истечения среды поотношению к поверхности независимо от угла скаса потока перед экраном. Внаиболее распространенном случае ортогонального истечения это свойствоудобно использовать при вычислении продольной нагрузки наперфорированную стенку, поскольку перетекающий через перфорацию газдолжен полностью терять свой первоначальный тангенциальный импульс (как, например, в случае решетчатых крыльев).Предложено и обосновано полуэмпирическое граничное условие для режимовзапираия газового потока при наклонном взаимодействии с перфорированнымэкраном, структура пористости которого обладает направляющим действием [4]. Установлен вид обобщенной адиабаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по проектам № 12-01-00985, 10-01-00256.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. Рахматулин Х.А., Гувернюк С.В. О постановке задач обтекания проницаемых тел несжимаемой средой. – Механика. Избранные труды к 50-летию НИИ механики МГУ. Т. I. – М.: Изд-во Моск. унта. 2010. С. 253-281.
4. Андронов П.Р., Гирча А.И., Гувернюк С.В. О стабилизации уловленного вихря в каверне с помощью проницаемой крышки // Современные проблемы математики и механики. К 70-летию со дня рождения академика В.А. Садовниченко. Под редакцией академика Г.Г. Чёрного и профессора В.П. Карликова. 2009. № 2.1. С. 33-41.
5. Гувернюк С.В. Адиабата проницаемой поверхности. // АМГД, 2002. № 3. С. 84-89. Гувернюк С.В., Синявин А.А. Об условиях запираия на газопроницаемой поверхности перфорированных тел// Космонавтика и ракетостроение, 2009/ N 1/ С. 70–78.