

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ЭЖЕКТОРНОМ УСТРОЙСТВЕ ПРИ ПОМОЩИ ANSYS CFX

Московский Авиационный Институт (Национальный исследовательский университет)

Николай Николаевич Королев, аспирант кафедры 207,
Владимир Сергеевич Щенников, сотрудник кафедры 207,
Вероника Павловна Монахова, заведующая кафедрой 207

Приведены результаты численного моделирования однофазного течения во внутреннем тракте струйно-абразивного аппарата с использованием модуля CFX программного пакета Ansys. Моделирование проводилось для семи различных комбинаций диаметров смесительного и активного сопел и четырех режимов работы. Определены параметры потока на выходе из устройства, построены графики зависимостей коэффициента эжекции и коэффициента увеличения импульса от соотношения площадей активного и смесительного сопел и полного давления на входе в устройство. Проведен анализ наиболее оптимального сочетания геометрических параметров сопел.

The article presents the results of numerical simulation of single-phase flow in the inner path of the abrasive jet apparatus using the module Ansys CFX software package. Simulation was performed for seven different combinations of diameters and mixing nozzles and active modes to four. Defined flow conditions at the outlet of the device, plotted the ejection rate and the pulse rate of increase of ratio of the active area and the mixing nozzle and the total pressure at the inlet to the device. The analysis of the optimal combination of geometric parameters of the nozzles.

Ключевые слова: численное моделирование, математическое моделирование, струйно-абразивный аппарат, AnsysCFX, газовые эжекторы.

Keywords: numerical simulation, shot peening machine, Ansys CFX, gas ejectors.

Введение

Сложность конструктивных форм, высокие требования к точности обработки и качеству поверхностного слоя деталей авиационной техники приводят к тому, что почти во всех технологических процессах изготовления деталей присутствуют слесарно-зачистные и слесарно-полировальные операции. Такая обработка не всегда обеспечивает заданные параметры качества поверхностного слоя деталей, а это приводит к снижению ресурса и надежности работы [1].

Практика показывает, что многие ручные слесарно-зачистные и слесарно-полировальные операции могут быть успешно заменены высокоэффективной механизированной или автоматизированной струйно-абразивной обработкой (САО). Этот метод обработки обладает высокими технологическими возможностями, он может использоваться для различных видов обработки, например, для скругления острых кромок и сопряженных радиусов, полировки и шлифовки сложных поверхностей, удаления заусенцев и зачистки сварных швов, снятия со всей поверхности дефектного слоя, подготовки поверхности под покрытие, снятия небольшого припуска с целью снижения шероховатости поверхности, удаления окисных пленок, нагара, различных повреждений с поверхностями деталей. При этом обеспечиваются высокая производительность и хорошее качество поверхностного слоя деталей [1].

Таким образом, струйно-абразивная обработка может широко применяться при производстве и ремонте лопаток компрессоров, лопаток турбин, дисков, зубчатых колес, крыльчаток и др.

Объект исследования

В настоящее время из всех существующих аппаратов для струйно-абразивной обработки наибольшее применение находят устройства с принудительной насосной подачей суспензии в камеру смешения и последующим ее разгоном. Другой разновидностью используемых при этой обработке аппаратов, являются устройства, использующие эжекционную схему подачи абразива. Такие аппараты стабильно работают, как правило, во вспомогательном производстве, их отличает широкий диапазон изменения давления воздуха и расхода суспензии, они просты в эксплуатации и экономически более выгодны, чем напорные схемы, обеспечивая при этом достаточно высокую производительность и приемлемое качество обработки. Этим методом могут быть обработаны детали практически любой формы и конфигурации, широко используются такие установки в опытном производстве, например, для подготовки поверхности под нанесение покрытий.

Параметры струйных аппаратов

Производительность и качество струйно-абразивной обработки зависит от энергетических возможностей абразивной струи, формируемой струйным аппаратом. Обеспечить выполнение указанных требований можно, варьируя такие параметры как:

- конструкция оборудования и принцип действия (длины и отношение площадей активного и смесительного сопел, расстояние между активным и смесительным соплами, размеры камеры смешения);
- абразив для струйной обработки (форма, размер, твердость);
- время воздействия струйной абразивной обработки, количество абразива в единицу времени;
- скорость удара абразивных частиц и угол их падения.[2]

В настоящей работе проводилось исследование влияния геометрических параметров регулируемого струйного аппарата - эжектора, формирующего газовую струю круглого сечения, на эффективность работы, определяемую такими основными параметрами, как размеры и отношение площадей активного и смесительного сопел, расстояние между активным и смесительным соплами, длина сопел, угол сходимости смесительного сопла и размеры камеры смешения.

Реализация решения в ANSYS CFX

Трехмерное численное моделирование течений газа позволяет получить значения газодинамических параметров среды, таких как скорость, давление, температура и др. в каждой точке объекта исследования с учетом турбулентного параметра течения и геометрических особенностей эжекторного устройства. Эффективность программного комплекса Ansys CFX для расчета течений подтверждается многочисленными сравнениями данных, полученных с его помощью, с экспериментальными данными [3].

Для решения поставленной задачи была использована SST-модель турбулентности (Shear-Stress-transport) или "модель переноса сдвиговых напряжений", представляющая собой комбинацию моделей турбулентности "k-ε" и "k-ω", описывающая свойства свободных сдвиговых течений и также подходящая для моделирования пристеночных течений.

На рисунке 1 представлен общий вид расчетной сетки для численного моделирования течения газа по тракту рассматриваемого эжектора. Для упрощения геометрии из расчетной области были удалены фаски на выходе из смесительного сопла, а также добавлена в расчет область длиной 50 мм и диаметром 80 мм для детального изучения параметров потока на некотором удале-



Рис. 1 Общий вид расчетной сетки в AnsysCFX

в расчетной области. Расхождение в полученных результатах характеристик течения по тракту после 1,6 млн ячеек является незначительным, менее 2%. Это свидетельствует о независимости результатов решений от изменения (уточнения) элементов сетки расчетной области. Таким образом, на начальном этапе исследования течения в абразивном аппарате, для сокращения времени и затрат на машинное время, принимаем количество элементов сетки не более 1,6 млн.

Моделирование течения по тракту проводилось для различной геометрии активного (диаметрами 3 мм, 5 мм, 6 мм) и смесительного (диаметрами 6 мм, 10 мм, 12 мм) сопел и различных режимов работы. При расчетах используются следующие граничные условия (рисунок 2):

- На Вход 1 задается полное давление подводимого газа, варьируемое от $1,6 \cdot 10^5$ Па до $2,8 \cdot 10^5$ Па с шагом $0,4 \cdot 10^5$ Па. Температура подводимого газа равна 293,15 К.

- На Вход 2 (патрубок подачи абразива) задается полное давление подводимого газа, равное $1 \cdot 10^5$ Па. Температура равна 293,15 К.

- На Выход задаются стандартные условия (давление $1 \cdot 10^5$ Па и температура 293,15 К).

Результаты численного моделирования однофазных течений

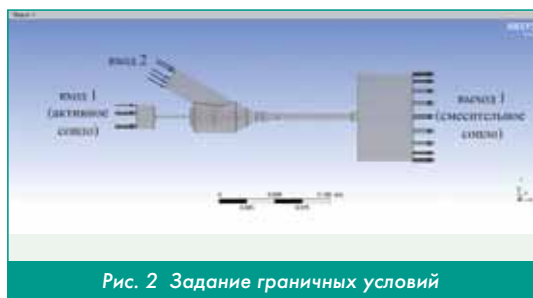


Рис. 2 Задание граничных условий

и смесительного сопел и режима работы, при которых будет обеспечена наибольшая скорость истечения газа из устройства.

В результате моделирования были получены распределения полного давления по тракту модели для различных сочетаний геометрических параметров (α) в зависимости от значения полного давления на входе в устройство. На рисунке 3 приведено распределение полного давления в продольном сечении устройства для диаметра активного сопла 6 мм, диаметра смесительного 12 мм и

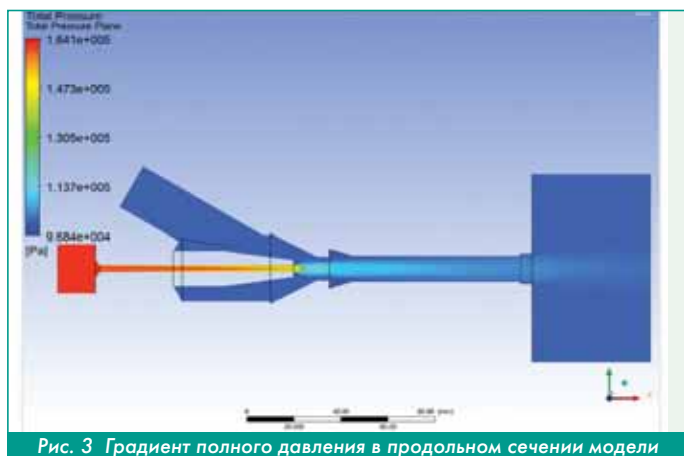


Рис. 3 Градиент полного давления в продольном сечении модели

нии от выхода из устройства.

Общее количество элементов расчетной области изменялось от 1,2 млн до 2,6 млн ячеек

давления на входе в устройство $1,6 \cdot 10^5$ Па.

По полученным в ходе численного эксперимента данным были построены графики зависимости коэффициента эжекции и коэффициента увеличения импульса от двух факторов: основной геометрический параметр α и полное давление на входе в устройство (рисунки 8-11):

На рисунке 4 показано поле скоростей в продольном сечении устройства для варианта с диаметром активного сопла 6 мм, диаметра смесительного 12 мм и давления на входе в устройство $1,6 \cdot 10^5$ Па. А также приведены графики зависимостей скорости на выходе из устройства от основного геометрического параметра α и полного давления на входе в устройство.

Заключение

В результате работы был проведен анализ конструкций струйно-абразивных аппаратов.

Проведено численное моделирование эксперимента по исследованию влияния соотношения геометрических параметров и режимов работы на выходные параметры и качество газовой струи.

Получены распределения полного давления вдоль тракта струйно-абразивного аппарата для различных параметров α и при различных режимах работы.

Построены зависимости коэффициента эжекции и скорости истечения газа на выходе из устройства, при этом наилучшие выходные параметры газовой струи получены при оптимальном соотношении размеров сопел: площадь выходного сечения активного сопла $F_c = 3$ мм и площадь смесительного сопла $F_2 = 10$ мм.

Литература

1. Шманев В.А., Шулепов А.П., Мещеряков А.В. Струйная гидроабразивная обработка деталей ПТД: - М.: Машиностроение, 1995. - 144 с. ISBN 5-217-01779-1
2. Козлов, Д.Ю. Бластинг. Гид по высокоэффективной абразивоструйной очистке / Д.Ю. Козлов. - Екатеринбург, 2007. - 220 с.
3. Брыкин Б.В., Евдокимов И.Е. Численное моделирование эксперимента по исследованию течения в лабиринтном уплотнении // Труды МАИ. - 2012. - №61
4. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. - М.: Наука, 1969. - 824 с.
5. Sodja J. Turbulence models in CFD //University of Ljubljana. Faculty for mathematics and physics. Department of physics-2007.
6. Ларина Е. В., Ципенко А. В., Экспериментальные данные о потоке в газовом эжекторе для верификации моделей турбулентности// Труды МАИ. 2017. № 97.
7. Гидаспов В. Ю., Численное моделирование одномерного стационарного равновесного течения в детонационном двигателе// Труды МАИ. 2015. № 83.
8. Лепешинский И. А., Антоновский И. В., Гузенко А. А., Зуев Ю. В., Влияние граничных условий системы "сопло-струя" на распространение двухфазных газокпельных струй// Вестник Московского авиационного института. 2015. № 4.

Связь с авторами: email: korolev.n.n@yandex.ru
e-mail: tshennikov@gmail.com
e-mail: monakhova.v.p@mail.ru

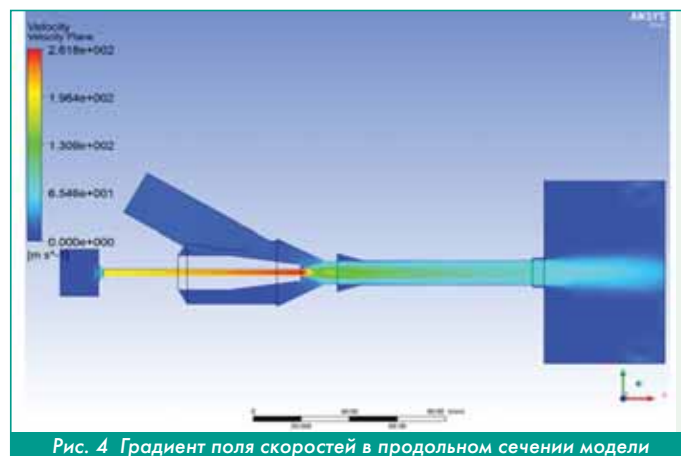


Рис. 4 Градиент поля скоростей в продольном сечении модели