

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ФИЛЬЕРЫ В ПРОЦЕССЕ ПРОДАВЛИВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКОЙ МАССЫ

Настоящая работа посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния и оценке прочности стальной фильеры в процессе продавливания керамической массы (в процессе экструзии). Экструзия представляет собой непрерывный технологический процесс, заключающийся в продавливании материала, обладающего высокой вязкостью в жидком состоянии, через формующий инструмент (экструзионную головку, фильеру), с целью получения изделия с поперечным сечением нужной формы.

В статье [1] на основе конечно-элементного анализа определено напряженно-деформированное состояние фильеры при действии постоянной нагрузки и осуществлен выбор материала для ее изготовления. Показано, что использование стали G65 WC-Co позволяет избежать возникновения трещин в процессе экструзии керамической массы. Модифицированный вариант такой фильеры исследуется в данной работе.

Задача решалась в два этапа с помощью технологии FSI (Fluid-Structure Interaction), реализованной в семействе программ ANSYS. На первом этапе методами вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics) определялись характеристики течения керамической массы через фильеру с учетом свободной поверхности и нестационарности процесса. На втором этапе исследовалось напряженно-деформированное состояние конструкции для трех характерных (для процесса экструзии) моментов времени и проводился анализ прочности конструкции. В процессе работы гидродинамический анализ проводился в программном комплексе ANSYS/CFX. Результаты этого анализа передавались в программную систему ANSYS для проведения структурного анализа.

С целью уменьшения времени вычислений в CFD анализе рассматривалась только 1/4 часть периодического элемента рабочей части конструкции (рис. 2а). При проведении структурного анализа рассматривалась вся модель фильеры с учетом условий симметрии (рис. 1). Для перераспределения на всю модель поля поверхностного давления, полученного в CFD анализе для одного периодического элемента, был разработан макрос на языке APDL (ANSYS Parametric Design Language).

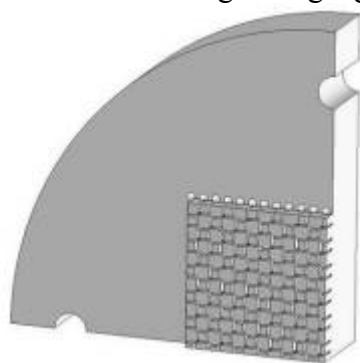


Рис. 1

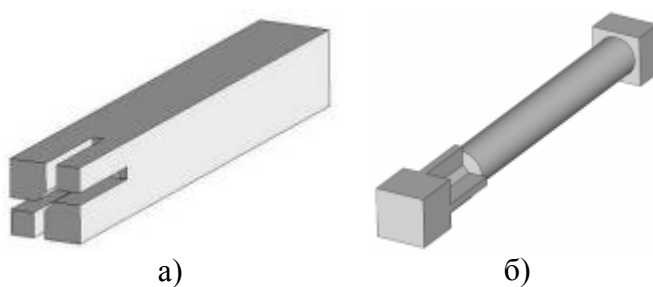


Рис. 2

Процесс экструзии керамической массы заключается в продавливании раствора карбида кремния (SiC +связующая смола) через фильеру. Значительная часть процесса экструзии — это установившийся процесс. Вскоре после начала продавливания течение смеси через фильеру может считаться стационарным (установившимся). Начало процесса — заполнение фильеры — приводит к деформациям конструкции и значительно влияет на ее прочность.

На рис. 1 представлена 1/4 часть пространственной (3D) геометрической модели конструкции фильеры. На рис. 2 представлены: 1/4 часть ячейки периодичности фильеры (а) и геометрическая модель для проведения гидродинамического анализа (б).

Проведены два варианта расчета. В первом случае керамическая масса моделировалась как неньютоновская вязкая несжимаемая жидкость, описываемая реологическим уравнением [2]:

$$\mu = K \dot{\varepsilon}^{n-1}, \quad (1)$$

где μ — вязкость; K — константа материала (коэффициент консистенции); ε — скорость сдвига; n — константа материала (индекс течения). Значения констант материала получены по данным экспериментальных измерений зависимости вязкости керамической массы от скорости сдвига. На рис. 3 представлена зависимость динамической вязкости смеси от скорости сдвига.

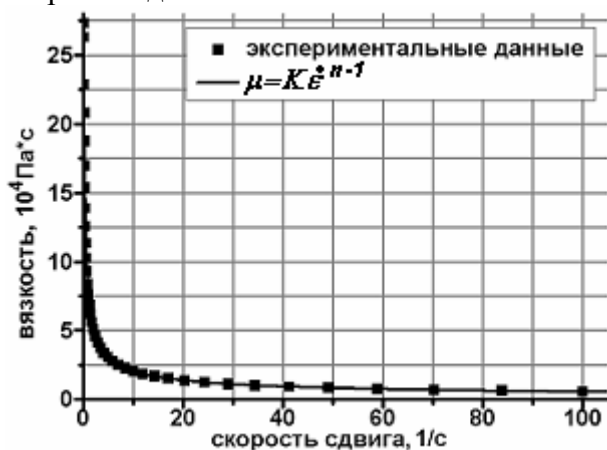


Рис. 3



Рис. 4

Изменение силы F_z , действующей на 1/4 часть ячейки периодичности фильеры, в процессе экструзии, представлено на рис. 4. По результатам FSI расчета определялся наиболее опасный момент для статической прочности конструкции. Это момент времени, которому в данном расчете соответствует установившийся процесс экструзии. Давление на переднюю стенку фильеры, рассчитанное в CFD анализе для этого момента времени, равно ~500 МПа. Однако по результатам экспериментов это давление равно 10 МПа.

Несоответствие расчетного и экспериментального значений давления может быть вызвано неточным заданием свойств продавливаемого материала. Все входные данные (свойства материалов и нагрузки) выглядят правдоподобно, кроме значений динамической вязкости керамической массы. Поэтому для второго расчета было подобрано такое значение динамической вязкости ($\mu=150$ Па·с), чтобы давление на переднюю стенку фильеры по результатам CFD расчета было порядка 10 МПа. Во втором расчете раствор карбида кремния рассматривался как ньютоновская вязкая несжимаемая жидкость.

В этом случае наиболее опасный момент для статической прочности конструкции — это также момент времени, которому в данном расчете соответствует стационарный процесс экструзии. Максимальные сжимающие и растягивающие напряжения не превышают соответствующие пределы прочности в течение всего процесса экструзии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Purwadi Raharjo, Kensuke Uemura, A.I.Borovkov. Durable SiC Honeycomb Dies for Diesel Fuel Emission with Electron Beam Irradiation.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа, М., 1987.