Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого Высшая школа теоретической механики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Магистерская диссертация

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ВЯЗКОГО ТОЛСТОСТЕННОГО ЦИЛИНДРА

ПРИ ОСЕВОМ РАСТЯЖЕНИИ И НЕРАВНОМЕРНОМ НАГРЕВЕ

по направлению 01.04.03 Механика и цифровое математическое моделирование,

01.04.03_03 Механика и цифровое производство

Выполнила студентка гр. 3640103/80301

М.А. Гусева

Руководитель доцент, к.ф.-м.н.

М.Б. Бабенков

Санкт-Петербург

2020

- Разработка физико-математической модели поведения вязкого толстостенного цилиндра;
- Изучение области применения такой модели;
- Параметрический анализ;
- Оценка применимости, предложение метода будущей оптимизации такой модели и расширения границ её применения.

Актуальность и промышленное применение

Изготовление флаконов



Рис.1 Машина по производству стеклянных пробирок



Рис.2 Реальный процесс. Растяжение

Постановка задачи



Граничные условия:

- Верхняя грань зафиксирована;
- К нижней грани прикладываем силу F;
- Напряжения на внешней и внутренней поверхности цилиндра 0.

Рис.4 Процесс растяжения полого цилиндра

Формирование решётки



Потенциальная энергия

Суммарная кинетическая энергия

$$K = \frac{M}{2} \sum_{q=1}^{n} \sum_{p=1}^{m} \left(\frac{\partial R_{q,p}(t)}{\partial t} \right)^{2}$$

 $R_{q,p}(t)$ – положение частицы с индексом (q, p) в момент времени t; $R_{q,p}(t) = i \cos(\theta_p) r_q(t) + j \sin(\theta_p) r_q(t) + k z_q(t)$

М – масса частицы;

q, p – номер слоя и номер частицы в слое соответственно;

n, m – количество слоёв и частиц в каждом слое соответственно.

L = K - P – лагранжиан;



q_i - обобщённые координаты, t - время,
 штрихом обозначено дифференцирование по времени,
 в правой части уравнения - вязкие силы.

Коэффициент вязкости зависит от температуры.

Граничные условия:

$$r_{1} = f_{r_{1}}(t), \qquad f_{r_{1}}(t) = 0.0075,$$

$$r_{n} = f_{r_{n}}(t), \qquad f_{r_{n}}(t) = 0.0075,$$

$$z_{n} = f_{z_{n}}(t). \qquad f_{z_{n}}(t) = 0.015.$$

Верхний слой жестко закреплён, нижний тянем вниз с силой F. $F = \sin[t/10]*50$



*Fulcher, G. S. ANALYSIS OF RECENT MEASUREMENTS OF THE VISCOSITY OF GLASSES(1925)

Влияние коэффициентов жёсткости на перемещение

секундах



Расчёт коэффициента поверхностного натяжения

$$\sigma_{sol} = \frac{\Delta W p}{\Delta S}$$

∆S —изменение площади поверхности цилиндра;

∆*Wp* — количество энергии, затраченное на изменение площади поверхности.

*
$$\sigma_{glass} = 0,22-0,38 \frac{H}{M}$$



 $\eta_{q} = 0.00001 \Psi$

*Мельников И. Стекло и его свойства. Сырьевые материалы для стекловарения. Приготовление шихты

Сравнение с реальным процессом



Рис.13 Эволюция решения при $c_{\alpha} = 2e-4$, $h_{\alpha} = 1e-2$, $g_{\alpha} = 1e-4$; t – время в секундах; $\eta_q = 0.00001\Psi * TNH(q)$



Рис.14 Снизу – реальный процесс; Сверху – результат моделирования

Пример расчётов



• Поведение решений модели соответствуют физическим представлениям об изучаемом процессе.

— Найдены параметры при которых рассчитанный коэффициент поверхностного натяжения в ходит в экспериментально полученный диапазон значений.

- Модель имеет несколько входных параметров, оказывающих различное влияние на поведение её решений. Можно получать решения для разных видов материалов.
 - Чем больше коэффициент упругости С, тем сложнее растянуть/сжать цилиндр;
 - Коэффициенты сдвига, G и H, связаны: при уменьшении G увеличиваем H.
- Параметры модели желательно подбирать автоматическими методами.
 - В качестве метода оптимизации параметров модели предлагается генетический алгоритм.

Спасибо за внимание!

Генетический алгоритм

