

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СВС-КОМПАКТИРОВАНИЯ

Технологии СВС-компактирования, к которым можно отнести СВС-прессование и СВС-экструзию, обеспечивают синтез материала и получение готового изделия в одной установке (рис. 1). СВС-прессование включает в себя стадии подготовки из металлов и неметаллов реакционной шихты, горения материала образца в прессформе, прессования.

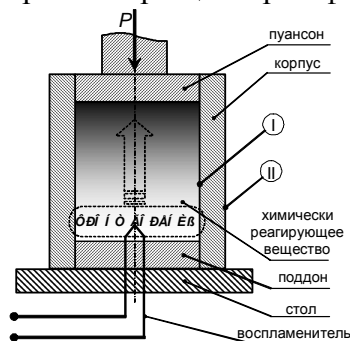


Рис. 1. Прессформа для СВС-компактирования

Традиционно при расчете на прочность прессформ, нагруженных внутренним давлением, тепловой поток через стенку принимается постоянным, а перепад температур в стенке на границах I, II принимается равным максимальному значению в ходе проведения процесса. Однако, для нестационарного процесса теплопередачи, протекающего после стадии горения, нецелесообразно применять данный подход. В связи с этим в ИСМАН была разработана неизотермическая методика расчета стенки прессформы для нестационарного процесса теплопередачи [1].

Для расчета температурных полей была использована математическая модель (рис. 2), включающая дифференциальные уравнения теплопроводности в частных производных, начальные и граничные условия, уравнение движения фронта горения [2–3]. Входными переменными модели являются скорость U_T и температура T_T горения образца материала, время задержки прессования t_3 (время от конца горения материала до начала приложения давления), давление прессования P . Математическая модель позволяет рассчитать температурное поле, установившееся в образце и стенке прессформы к моменту времени t_3 . По этому полю могут быть рассчитаны выходные переменные: температура на внутренней стенке T_1^c , толщина δ_1 слоя стенки, находящегося в допустимом температурном диапазоне (т.е. диапазоне, в котором изменения в материале прессформы являются обратимыми и не приводят к потере механических свойств), эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{ЭКВ}}$, возникающие в стенке от температурных и механических воздействий.

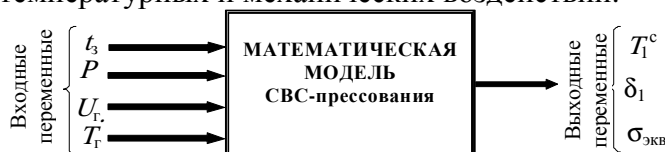
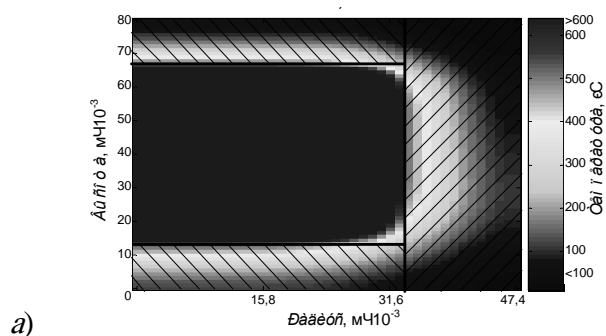


Рис. 2. Структурная схема нестационарного процесса теплопередачи через стенку прессформы



а)

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук Д.С. Дворецкого.

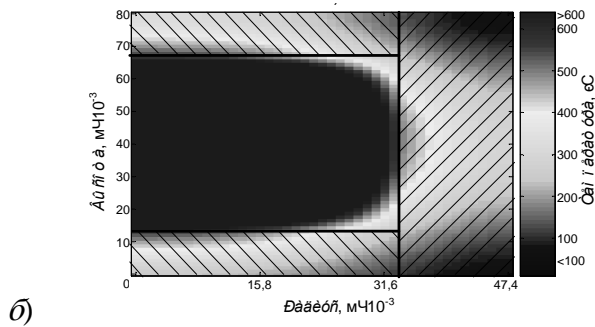


Рис. 3. Распределение температур по сечению прессформы без использования теплоизолирующего материала:
a – при $t_3 = 2,5$ с; *б* – при $t_3 = 10$ с

Для данного процесса оптимизируемой переменной является время задержки t_3 , от величины которой наиболее сильно зависит температурный градиент в стенке прессформы (рис. 3).

Задача состоит в том, чтобы определить минимальную толщину стенки прессформы δ и время задержки t_3 , обеспечивающие выполнение ограничений на значения максимально допустимой температуры на внутренней стенке, температурного перепада и температурных напряжений в стенке. Расчет толщины стенки при этом проводится по неизотермической методике.

$$\min_{\delta, t_3} \delta(t_3); \quad (1)$$

$$T_1^c(\delta, t_3) - T_{кр} \leq 0; \quad (2)$$

$$10 - \frac{\delta(t_3)}{\delta_1(t_3)} \leq 0; \quad (3)$$

$$\sigma_{экр}(t_3) - [\sigma] \leq 0. \quad (4)$$

Здесь:

- максимальная температура T_1^c на внутренней стенке прессформы не должна превышать значение $T_{кр}$, при котором материал стенки теряет заданные механические свойства (2);
- толщина δ_1 должна быть много меньше (как минимум, в 10 раз) всей толщины стенки прессформы (3);
- по условию прочности величина $\sigma_{экр}$ не должна превышать $[\sigma]$ (4).

В результате решения задачи были получены данные, приведенные в табл. 1, из которой видно, что при заданных давлении прессования, температуре и скорости горения оптимальное значение времени задержки равно 5,7 с. При этом минимальная толщина стенки прессформы, обеспечивающая выполнение всех ограничений, равна 42 мм, в то время как при расчете значения δ без подбора оптимальных режимов процесса толщина стенки прессформы равна 56 мм. Таким образом, выбор оптимального значения t_3 и расчет толщины стенки по неизотермической методике обеспечивает снижение массы пресс-формы с 83 до 67 кг (на 20 %).

1. Результаты решения задачи оптимизации

Величина	Значение
Время задержки t_3 , с	5,7
Скорость горения U_r , мм/с	25
Толщина стенки δ , мм	42
Температура на внутренней стенке $T_1^c(t_3)$, °C	500,0

Допускаемые напряжения $[\sigma]$, МПа	269,3
Эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{эKB}}(t_3)$, МПа	128,4
Отношение $\delta(t_3) / \delta_1(t_3)$	12,0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шепелев, В.В. Компьютерное моделирование тепловых режимов СВС-прессования : дис. ... магистра техники и технологии: защищена 26.06.08 / В.В. Шепелев. – Тамбов, 2008. – 77 с. – Библиогр.: С. 49 – 57.
2. Стельмах, Л.С. Математическое моделирование тепловых режимов силового СВС-компактирования / Л.С. Стельмах, Н.Н. Жилаева, А.М. Столин // Инженерно-физический журнал. – 1992. – Т. 63, № 5. – С. 623 – 629.
3. Стельмах, Л.С. Математическое моделирование СВС-экструзии. Тепловые модели / Л.С. Стельмах, А.М. Столин, А.Г. Мержанов // Инженерно-физический журнал. – 1993. – Т. 64, № 3. – С. 83 – 89.

Кафедра «Технологическое оборудование и пищевые технологии»