

НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА ПРЕСС-ФОРМЫ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ СВС-ПРЕССОВАНИЯ

Л.С. Стельмах¹, В.В. Шепелев², А.М. Столин¹, Д.С. Дворецкий²

*Институт структурной макрокинетики и
проблем материаловедения РАН, г. Черноголовка (1);
кафедра «Технологическое оборудование и
пищевые технологии», ГОУ ВПО «ТГТУ» (2)*

Представлена членом редколлегии профессором Н.Ц. Гапановой

Традиционные методы расчета цилиндрических обечаек (корпусов, пресс-форм и т.п.), нагруженных внутренними силовыми и, одновременно, температурными напряжениями, сводятся к расчету на прочность и адекватны в том случае, когда тепловой поток и, соответственно, температурный перепад в стенке принимается постоянным. Тем не менее, они применяются и при расчете корпусов оборудования, работающего в режиме неустановившегося теплового потока (периодические реакторы сгорания, пресс-формы для СВС-прессования), а перепад температур в стенке при расчете на прочность принимается равным максимальному значению в ходе проведения процесса. Это приводит к необоснованному завышению толщины стенки корпуса.

Целью данной работы является разработка методики расчета пресс-формы, учитывающей нестационарность процесса, протекающего внутри пресс-формы, а также профиль температуры по толщине стенки.

Сущность нашего подхода заключается в следующем. На первом этапе для характеристики тепловых условий работы материала пресс-формы выделяются 3 температурных диапазона (сталь 40X):

- 1) 0...200 °С – низкотемпературный интервал, в котором в материале пресс-формы не происходит никаких изменений;
- 2) 200...500 °С – допустимый температурный диапазон, в котором могут происходить обратимые изменения в материале пресс-формы, не приводящие к потере механических свойств;
- 3) 500 °С и выше – высокотемпературный интервал, при работе в котором сталь теряет заданные механические свойства.

На втором этапе на основе математической модели тепловых режимов СВС-прессования получают зависимость максимальной температуры на внутренней стенке пресс-формы от толщины стенки (рис. 1) и по допускаемой температуре материала T_d (верхний предел допустимого температурного диапазона) определяется минимальное значение толщины стенки δ_T . Для стали 40X $T_d = 500$ °С и, соответственно, $\delta_T = 12$ мм.

На третьем этапе с помощью математической модели для найденной толщины δ_T строится профиль температур (рис. 2). Перепад температур, участвующий в расчете на прочность, определяется как

$$\Delta T = T_{\text{эф}} - T_{\text{внеш}},$$

где $T_{\text{эф}} = \frac{1}{\delta_1} \int_0^{\delta_1} T dr$ – эффективная температура, характеризующая тепловое нагружение всей стенки пресс-формы и учитывающая неизотермичность профиля

$T_{\max}, ^\circ\text{C}$

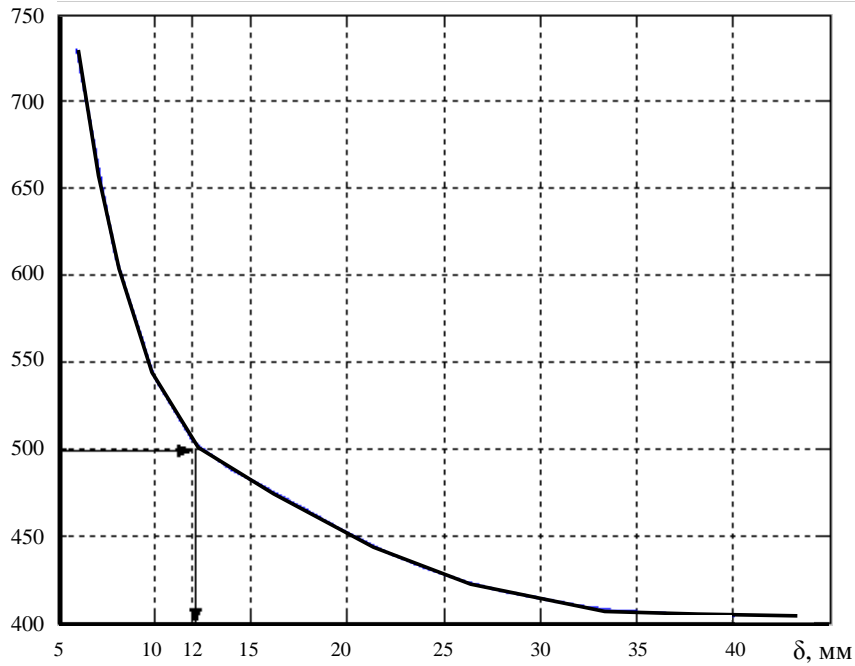


Рис. 1. Зависимость максимальной температуры T_{\max} на внутренней стенке пресс-формы от толщины стенки δ

$T, ^\circ\text{C}$

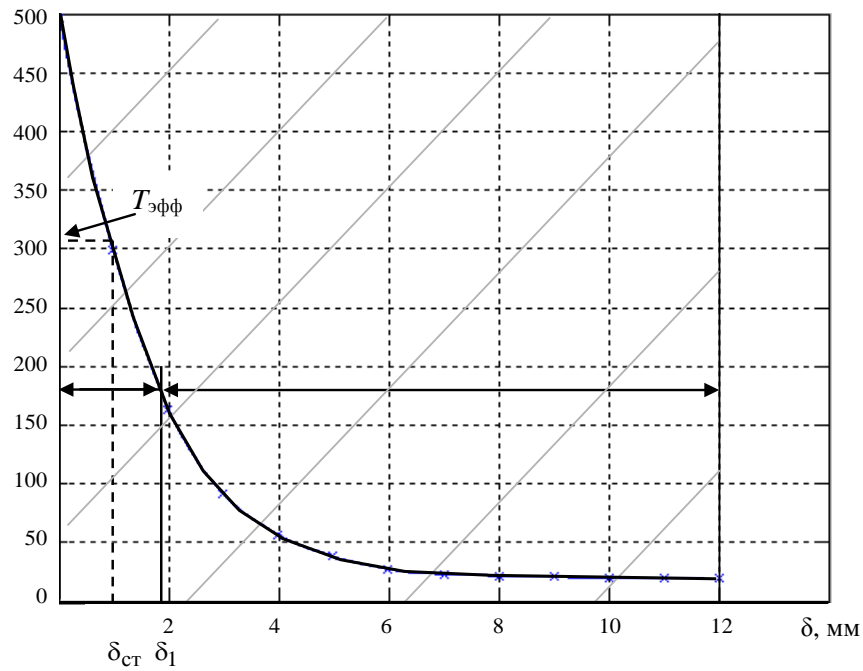


Рис. 2. Распределение температуры по толщине стенки пресс-формы ($\delta_{\text{г}} = 12$ мм, скорость горения – 20 мм/с; время задержки – 0,5 с)

температур и нестационарность процесса; $[0, \delta_1]$ – область, относящаяся к допустимому температурному интервалу. По перепаду температур ΔT рассчитываются эквивалентные напряжения

$$\sigma_{\text{экв}} = f(\Delta T, \beta, p),$$

где β – коэффициент толстостенности; p – внутреннее давление, и проверяется условие прочности $\sigma_{\text{экв}} \leq [\sigma]$, при невыполнении которого следует увеличить толщину стенки и повторить расчет.

На основе стандартного и предлагаемого методов произведены расчеты корпуса пресс-формы для СВС-прессования (табл. 1, 2), из которых следует, что неизотермический метод позволяет уменьшить массу пресс-формы M с 83 до 11 кг.

Таблица 1

Результаты расчета пресс-формы по традиционной методике

Величина	I итерация, $\delta = 42$ мм	II итерация, $\delta = 56$ мм
$T_{\text{внут}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{внут}} = T_{\text{д}} = 500$	
$T_{\text{внеш}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{внеш}} = T_{\text{д}}/2 = 250$	
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$\Delta T = T_{\text{внут}} - T_{\text{внеш}} = 250$	
$\sigma_{\text{т}}, \text{МПа}$	$\sigma_{\text{т}}(T_{\text{д}}) = \sigma_{\text{т}}(500 ^\circ\text{C}) = 284$	
$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\sigma_{\text{в}}(T_{\text{д}}) = \sigma_{\text{в}}(500 ^\circ\text{C}) = 342$	
$[\sigma], \text{МПа}$	118	
$\sigma_{\text{экв}}, \text{МПа}$	166	116
$\sigma_{\text{экв}} \leq [\sigma]$	Не выполняется	Выполняется
$M, \text{кг}$	–	83

Таблица 2

Результаты расчета пресс-формы по неизотермической методике

Величина	I итерация, $\delta = 12$ мм	II итерация, $\delta = 15$ мм
$T_{\text{эфф}}, ^\circ\text{C}$	350	327
$T_{\text{внеш}}, ^\circ\text{C}$	200	200
$\Delta T = T_{\text{эфф}} - T_{\text{внеш}}, ^\circ\text{C}$	150	127
$\sigma_{\text{т}}(T_{\text{эфф}}), \text{МПа}$	650	660
$\sigma_{\text{в}}(T_{\text{эфф}}), \text{МПа}$	750	800
$[\sigma], \text{МПа}$	259	276
$\sigma_{\text{экв}}, \text{МПа}$	619	252
$\sigma_{\text{экв}} \leq [\sigma]$	Не выполняется	Выполняется
$M, \text{кг}$	–	11

**Nonisothermal Method of Strength Estimation of Mould
on the Basis of Mathematical Model of Heat Modes of SPS-Moulding**

L.S. Stelmakh, V.V. Shepelev, A.M. Stolin, D.S. Dvoretzky

*Institute of Structural Macrokinetics and
Problems of Material Science of RAS, Chernogolovka (1);
department "Technological Equipment and Food Technologies", TSTU (2)*

**Nichtisothermische Methode der Festigkeitsberechnung
der Pressenform auf Grund des mathematischen Modells
der Wärmeregimen des SPS-Pressens**

**Méthode non isothermique du calcul rigide
de la presse-forme à la base du modèle mathématique
des régimes thermiques du pressage SPS**
