



There is offered the model for the optimization of the internal structure and thermal regimes of the object by special functions, formed on the basis of characteristics of the stresses field. There is described the algorithm of choice of the object optimal configuration and presented the functions, illustrating the application of the method to calculation of the detail, exposed to thermal processing.

О. И. ЧИЧКО, БНТУ

УДК 669.27:519

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ДЕТАЛИ, ПОДВЕРГНУТОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Разработка термических режимов сложных промышленных деталей — одна из сложнейших задач теории термической обработки. Особенно ярко эти проблемы проявляются при проектировании матриц, пуансонов, для которых важно правильно выбрать размеры и конфигурацию пространственных охлаждающих каналов. До сих пор эта проблема решается в основном на основе опыта [1] и трудоемких экспериментов. В данном случае спроектированная матрица может иметь характеристики, далекие от оптимальных прежде всего по стойкости, что является причиной образования трещин в процессе эксплуатации.

В настоящей работе предлагается системный подход к анализу пространственной конфигурации детали (внутренние размеры каналов), основанный на анализе трехмерного поля напряжений.

Условия для выбора пространственных конфигураций каналов сложной формы могут быть сформулированы в терминах теории оптимизации. Для этого вводится набор из трех функций $\sigma_i(x_p, \tau)$, характеризующих эволюцию (τ) и нормальные напряжения в пространстве (по компонентам $x(i=1)$, $y(i=2)$, $z(i=3)$), а также шесть функций $\tau_{kl}(x_p, \tau)$, характеризующих тангенциальное эволюционное поле. По этим функциям строится функционал, который должен быть минимизирован по дискретному набору анализируемых конфигураций Ω_p , $j=1, n$. Для функций $\sigma_i(x_p, \tau_m)$, $\tau_{kl}(x_p, \tau_m)$ ($\tau_m = \text{const}$) формируются функции распределения элементов объема детали в зависимости от значений $\sigma_i(x_p, \tau_m)$ и $\tau_{kl}(x_p, \tau_m)$. Причем функции $\sigma_i(x_p, \tau_m)$ могут быть как отрицательными (сжимающие напряжения), так и положительными (растягивающие напряжения). Функции распределения элементов обозначаются

$N_1^{\Delta\sigma^i}(x_i, \tau)$, $N_2^{\Delta\tau^{kl}}(x_i, \tau)$ соответственно для нормальных и тангенциальных полей объекта. Для сжимающих и растягивающих напряжений предусмотрены различные условия (индекс p и s).

Поиск оптимальной конфигурации проводится при ограничениях, накладываемых на характеристики функции распределения $N_1^{\Delta\sigma^i}(x_i, \tau)$,

$N_2^{\Delta\tau^{kl}}(x_i, \tau)$, физический смысл которых позволяет учитывать долю критических деформаций σ_R , τ_R . В качестве критерия оптимизации используется целевая функция, зависящая от параметров B_p , которые принимают различные значения в зависимости от системы ограничений по нормальным и тангенциальным напряжениям в объекте. Эта функция $Y^{\sigma_i, \tau_{kl}}(B_m)$ определяется для каждой пространственной конфигурации и характеризует число элементов в объекте, для которых не выполняются условия по ограничениям. Следует отметить, что система ограничений приведена к определенным температурным режимам. В частности, $T_1 = \text{const}$ (температура объекта в начальный момент) и $T_2 = \text{const}$ (температура среды в начальный момент).

Математическая форма перечисленных выше условий представлена в виде системы, являющейся структурной моделью выбора оптимальных конфигураций объекта, подвергнутого термической обработке при заданных тепловых условиях и теплофизических свойствах материала:

$$\begin{cases} N_1^{\Delta\sigma^i}(x_i, \tau) < K_1 N_1^{kp}, \\ N_2^{\Delta\tau^{kl}}(x_i, \tau) < K_2 N_2^{kp}, & x_i \in \Omega_j, i=1,3; j=1, n, \\ N_1^{\Delta\sigma^i}(x_i, \tau) < K_1 N_1^{kp}, & k=1,3; l=1,3, \\ Y_{(B_m)}^{\sigma_i, \tau_{kl}} \rightarrow \min, & T_1 = \text{const}, \\ \sigma_i(x_i, \tau) < \sigma_R, & T_2 = \text{const}, \\ \tau_{kl}(x_i, \tau) < \tau_R. \end{cases} \quad (1)$$

Функции $\sigma_i(x_p, \tau)$ характеризуют наборы компонент $\sigma_x(x_1, x_2, x_3, \tau)$, $\sigma_y(x_1, x_2, x_3, \tau)$, $\sigma_z(x_1, x_2, x_3, \tau)$, которые рассчитываются на основе модели термоупругости, состоящей из уравнений равновесия [2]. Распределения $N_1^{\Delta\sigma^i}(x_i, \tau)$, $N_2^{\Delta\tau^{kl}}(x_i, \tau)$

определяются на основе полей напряжений и имеют вид гауссовых контуров. Схема алгоритма для использования целевых функций, оптимизирующих конфигурацию детали и тепловые режимы, представлена на рис. 1, 2.

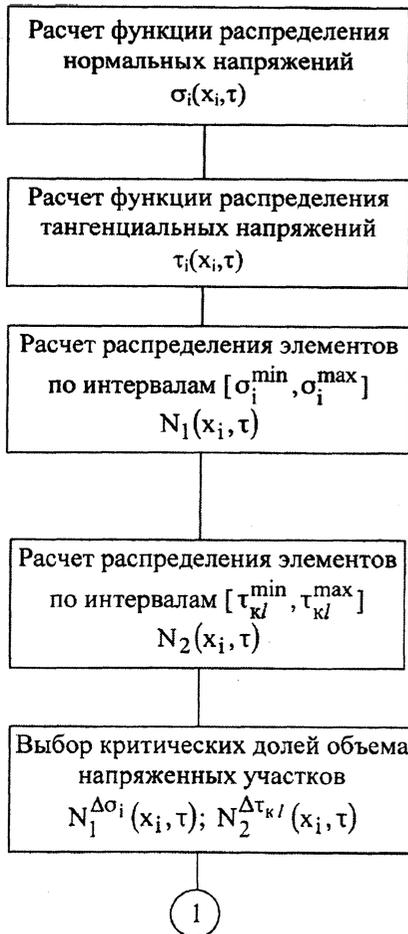


Рис. 1. Блоки расчетной схемы алгоритма по оптимизации конфигурации детали для напряжений

Для иллюстрации функций, составляющих систему (1) и алгоритм (рис. 1, 2), были проведены расчеты деформационного состояния промышленной детали, подвергнутой термической обработке в печи. На рис. 3, а показан 3d-объект (деталь), для которой были рассчитаны распределения напряжений различных компонент от числа элементов, составляющих объект. На рис. 3, 4 приведены пространственные распределения числа элементов объекта «крышка» по значениям, характеризующим $N(\sigma, \tau) = \cdot f(\sigma)$ поле напряжений детали. Процесс получения кривых (распределение относительного числа элементов объекта по напряжениям) состоял из следующих этапов. На первом этапе строили электронную модель 3d-объекта (рис. 3, а) в компьютерной системе «ПроТерм» [3]. На втором этапе моделировали функции: $\sigma_x = f(\tau)$, $\sigma_y = f(\tau)$, $\sigma_z = f(\tau)$, $\sigma(+) = f(\tau)$, $\sigma(-) = f(\tau)$ для всех пространственных точек объекта, из которых с помощью специального модуля фор-

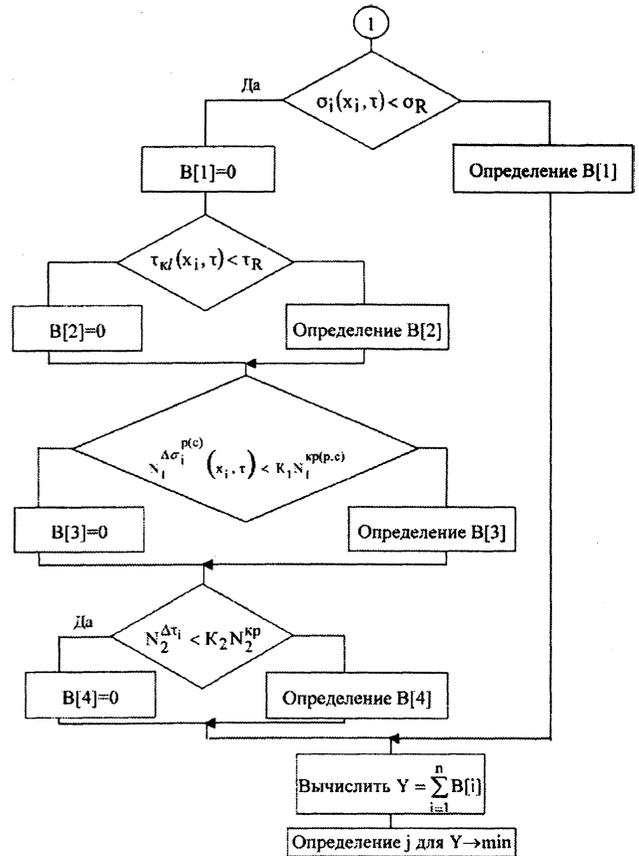
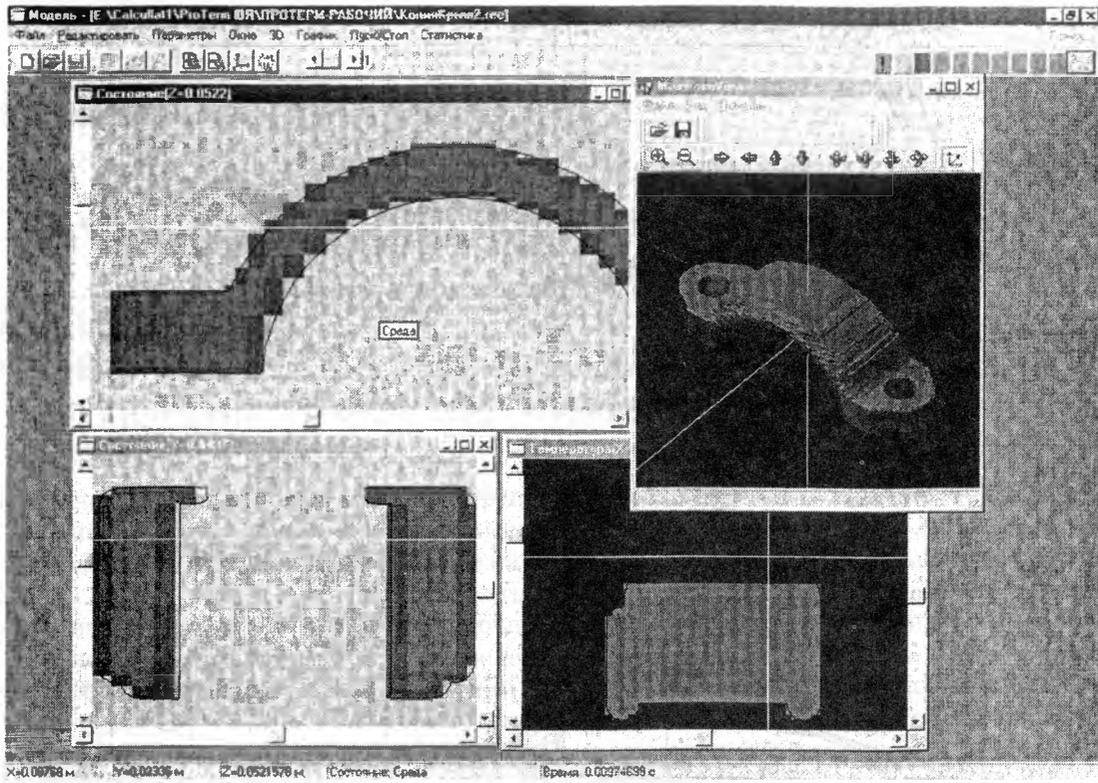


Рис. 2. Блоки условий алгоритма по оптимизации деталей для напряжений

мировали $N(\sigma, \tau) = (\sigma)$. В качестве исходных данных использовали теплоемкость, теплопроводность и плотность стали 95X18, в качестве начальной температуры объекта – температуру 1100 °С, при этом температура среды равнялась 20 °С.

Как видно из рисунков, все распределения числа элементов по характеристикам поля напряжений имеют вид гауссовых контуров, параметры которых для каждой рассчитанной детали будут своими. Проводя расчеты детали для различных тепловых режимов, можно получить наборы значений $N(\sigma, \tau)$ в выделенных интервалах напряжений. Анализируя функцию $NN(\sigma, \tau, j)$, составленную из этих наборов, можно определить оптимальный тепловой режим термической обработки, минимизирующий напряжения в объекте. Аналогичная методика может быть применена для оптимизации внутренней структуры охлаждения объекта.

Таким образом, предложенный подход может быть использован для оптимизации тепловых режимов и внутренних конфигураций объектов, подвергнутых термической обработке. На основе структурно-логической схемы выбора оптимальных конфигураций и тепловых режимов деталей разрабатывается программный модуль, который планируется использовать при апробации компьютерной системы «ПроТерм» на белорусских предприятиях.



a

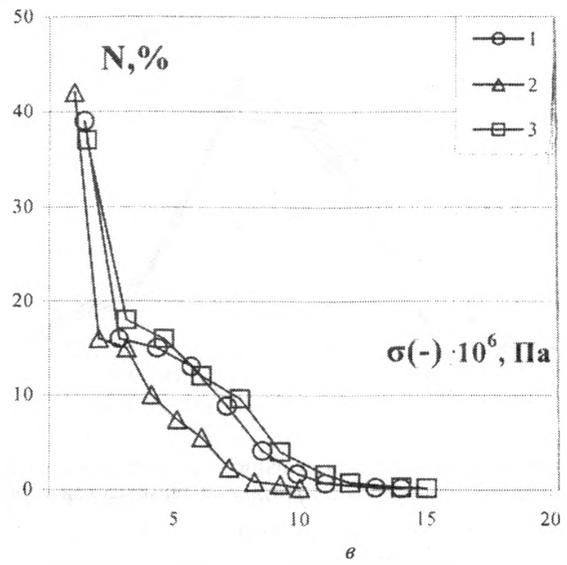
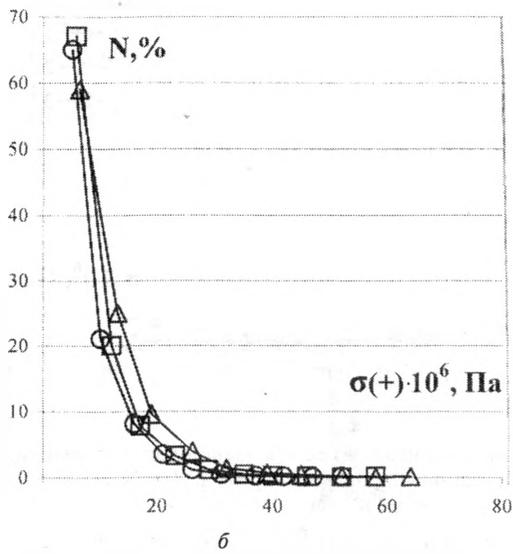


Рис. 3. Интерфейс системы "ПроТерм" (a) и распределение относительного числа элементов объема объекта по растягивающим (б) и сжимающим (в) напряжениям для фиксированных времен термообработки: 1 – 50 с; 2 – 70; 3 – 90 с

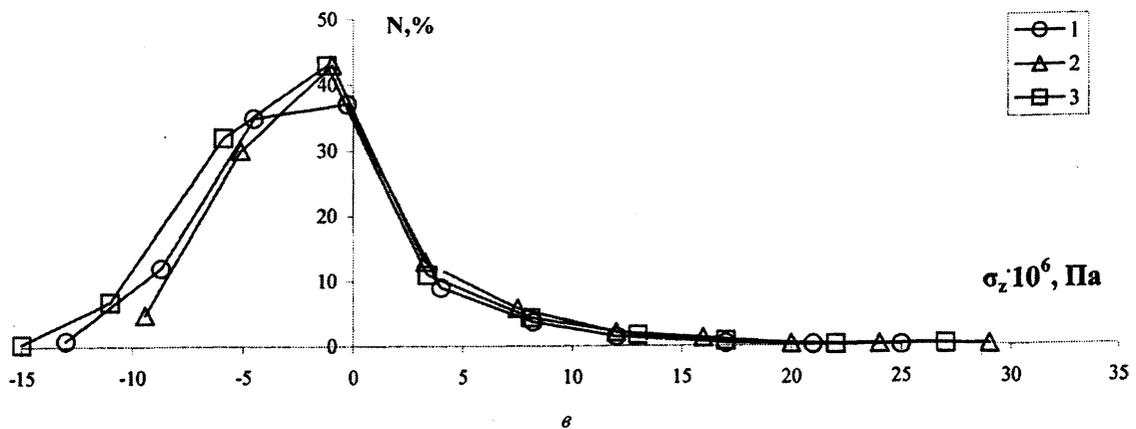
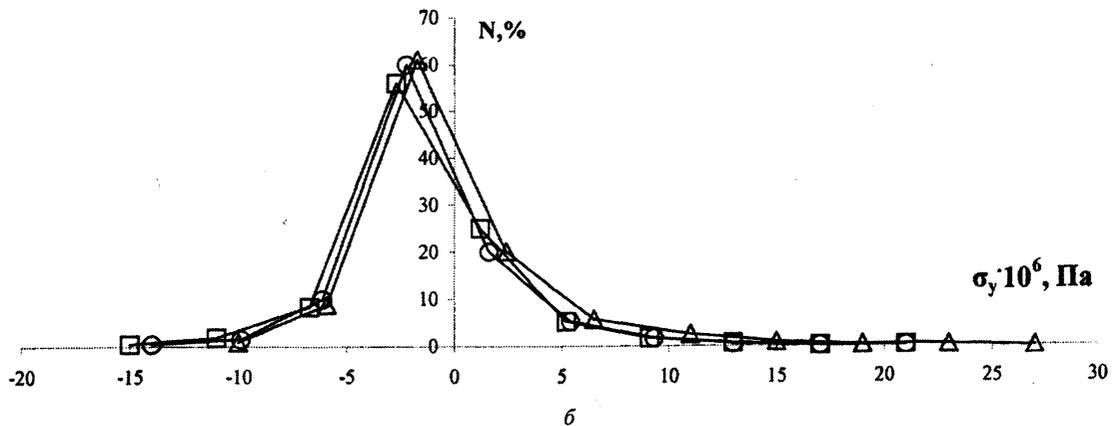
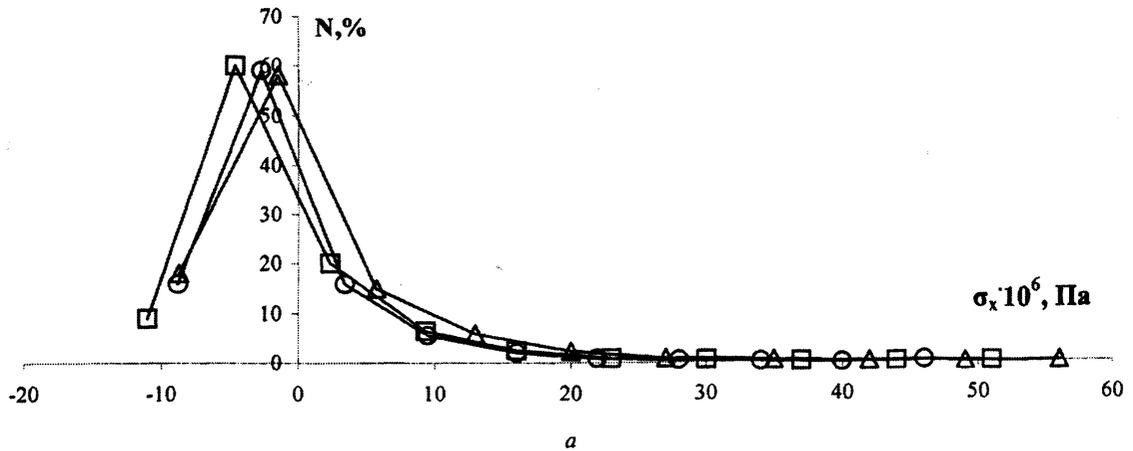


Рис. 4. Пространственное распределение относительного количества элементов объекта в зависимости от величины компонент напряжений, получаемых в результате термической обработки для фиксированных времен: 1 – 50 с; 2 – 70; 3 – 90 с

Литература

1. Чичко О.И., Соболев В.Ф., Анисович Г.А., Чичко А.Н. О методах компьютерного анализа напряжений и деформаций трехмерной детали, подвергнутой термической обработке // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2002. №4. С. 24 – 29.

2. Чичко А.Н., Дроздов Е.А., Чичко О.И. Моделирование эволюций напряжений и деформаций для алюминиевого сплава, охлаждающегося в трехмерной пространственной структуре // Литье и металлургия. 2002. №1. С. 21 – 26.

3. Чичко А.Н., Соболев В.Ф., Яцкевич Ю.В. Компьютерная система «ПроТерм»: применение для управления процессом термической обработки деталей // ТЭО. 2002. №1. С. 22 – 23.