АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ И МАТЕМАТИКИ
имени Я. С. ПОДСТРИГАЧА

На правах рукописи

СЕНИК
Андрей Петрович

УДК 539.377

КВАЗИСТАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ТЕРМОУПРУГОСТИ ДЛЯ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ

Специальность 01.02.04 — Механика
деформируемого твердого тела

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Львов — 1991

Работа выполнена во Львовском государственном университете имени И. Франко.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор КОЛЯНО Ю. М.

Научный консультант — член-корреспондент АН Украины, доктор физико-математических наук, профессор БУРАК Я. И.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор ВАСИЛЕНКО А. Т., доктор физико-математических наук ВИГАК В. М.

Ведущее предприятие — Институт проблем машиностроения АН Украины.

Защита состоится «27» января 1992 г. в 15 часов на заседании специализированного совета К.016.59.01 по присуждению ученой степени кандидата физико-математических наук и кандидата технических наук в Институте прикладных проблем механики и математики имени Я. С. Подстригача АН Украины (г. Львов, ул. Научная, 3б).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладных проблем механики и математики имени Я. С. Подстригача АН Украины (г. Львов, ул. Научная, 3б).

Отзыв на автореферат просим направлять по адресу: 290053, ГСП, г. Львов, ул. Научная, 3б, ученому секретарю специализированного совета.

Автореферат разослан «26» декабря 1991 г.

Ученый секретарь специализированного совета — ШЕВЧУК П. Р.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Решение вопросов повышения параметров прочности, надежности и долговечности элементов конструкций и приборов тесно связано с созданием новых и усовершенствованием существующих технологий упрочняющей обработки. К таким технологиям относится термообработка концентрированными потоками энергии высокой мощности. Теоретической основой определения рациональных режимов такой обработки с целью обеспечения требуемой прочности приповерхностных областей элементов конструкций является изучение на базе термомеханики неоднородных структур температурных полей и напряжений, возникающих в обрабатываемых телах.

Последовательное изложение основ теории и методов теплопроводности и термоупругости приведено в работах Б. Боли, Я.И. Бурака, А.Т. Василенко, В.М. Вигака, Э.И. Григолюка, Я.М. Григоренко, Д. Егера, В.С. Зарубина, И.Э. Зино, А.А. Ильюшина, Г. Карслоу, А.Д. Коваленко, Л.А. Коздобы, Ю.М. Коляно, В.А. Ломакина, А.В. Лыкова, И.А. Мотовиловца, В. Новицкого, Г. Паркуса, Б.Е. Победри, Я.С. Подстригача, В.Л. Рвачева, Н.Н. Рыкалина, А.П. Слесаренко, Э.А. Троппа, А.А. Углова, А.И. Уздалева, Дж. Уэйнера, а также в ряде других.

Распределение концентрированного потока энергии на поверхности тела моделируется законом Гаусса. В такой постановке линейные задачи о нагреве тел канонической формы с помощью концентрированных потоков энергии, а также некоторые методы их решения рассмотрены в работах Н.Н. Рыкалина, А.А. Углова, Ю.М. Коляно и их учеников. Следует отметить, что в пределах линейных постановок не учитывается ряд характерных особенностей, присущих процессу нагрева металлов. К их числу прежде всего относится существенное увеличение при повышенных температурах коэффициента теплопоглощательной способности материала, а также зависимости других характеристик материала от температуры. Учет указанных факторов естественно приводит к значительному усложнению математических моделей, которые становятся нелинейными, но повышает точность получаемых результатов.

Одной из первых в области термоупругости тел с зависящими от температуры характеристиками является работа И. Новинского. В ней, с использованием методов возмущений и последовательных приближений, предлагается способ решения одномерной задачи термоупругости, учитывающей температурную зависимость модуля сдвига и температурного коэффициента линейного расширения. Термодинамические вопросы учета температурной зависимости характеристик материала в определяющих соотношениях термоупругости рассмотрены в работах А.Д.Коваленко, а также Я.С.Подстригача, Я.И.Бурака и Д.П.Бесединой.

Решение одномерных статических и квазистатических задач термоупругости тел с зависящими от температуры физико-механическими характеристиками представлены в монографиях Я.С.Подстригача, Ю.М.Коляно, А.Н.Кулика и некоторых других работах.

Способ решения осесимметричной задачи термоупругости для термочувствительных цилиндрических тел предложили Н.Нода и Я.Даихью.

В литературе, однако, не описаны способы приближенного аналитического решения задач теплопроводности и термоупругости для термочувствительных цилиндрических тел с учетом температурной зависимости коэффициента теплопоглощательной способности материала. Поэтому создание такой методики приобретает особую актуальность.

Целью работы является разработка методики решения нелинейных задач термоупругости для термочувствительных тел цилиндрической формы; построение на этой основе решений задач термоупругости для длинного цилиндра при его нагреве потоком тепла; численное исследование влияния температурной зависимости характеристик материала и условий нагрева на температурное поле и напряженное состояние цилиндра.

Научная новизна работы состоит в следующем:

I. Предложена методика приближенного аналитического решения задач термомеханики для цилиндрических тел с учетом температурной зависимости теплофизических и механических характеристик, в том числе и коэффициента теплопоглощательной способности материала.

2. С помощью предложенной методики решены одно-, дву- и трехмерная задачи нестационарной теплопроводности и квазистатической термоупругости для длинного термочувствительного цилиндра, нагреваемого потоком тепла.

3. На основании полученных решений проведены численные исследования температурного поля и напряженного состояния цилиндра, нагреваемого потоком тепла. Изучено влияние параметров нагрева и зависимости характеристик материала от температуры на термонапряженное состояние тела. Проведены сравнения результатов расче-

тов, выполненных на основании решений задач в нелинейной и линейной постановках.

Достоверность результатов обеспечивается физической обоснованностью математических постановок нелинейных задач теплопроводности и термоупругости для термочувствительных цилиндрических тел, корректностью математических методов их решения, строгостью выкладок, контролем сходимости предложенного итерационного процесса при численных расчетах, а также удовлетворительным совпадением результатов, полученных в работе с ранее известными.

Практическая ценность. Полученные результаты численных исследований являются теоретической основой оценки напряженного состояния цилиндрических тел при нагреве потоком тепла, прогнозирования возникающих зон термического влияния, а также расчета неупругих деформаций, возникающих в процессе упрочняющей термообработки цилиндрических элементов конструкций. Прикладные результаты использованы в совместных разработках ИППММ АН Украины и Львовского госуниверситета.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на XI конференции молодых ученых Института механики АН УССР, (г.Киев, 1986 г.), семинаре "Применение лазерной техники и технологии для обработки материалов и нанесения пленок" (г.Ужгород, 1986 г.), II конференции молодых ученых и специалистов Института прикладных проблем механики и математики АН УССР "Проблемы повышения качества материалов, приборов и оборудования" (г.Львов, 1986 г.), XIII конференции молодых ученых Института прикладных проблем механики и математики АН УССР (г.Львов, 1989 г.), Всероссийской научной конференции "Математическое моделирование технологических процессов обработки материалов давлением" (г.Пермь, 1990 г.), III Всесоюзной конференции по механике неоднородных структур (г.Львов, 1991 г.).

В целом работа обсуждалась на семинаре отдела термомеханики Института прикладных проблем механики и математики им.Я.С.Подстригача АН Украины, семинаре кафедры математического моделирования Львовского государственного университета им.И.Франко.

Публикации. Результаты выполненных исследований опубликованы в семи работах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (112 наименований) и приложения.

Общий объем диссертации 128 страниц, в том числе 25 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы исследований, дан анализ современного состояния проблемы, кратко изложены основные результаты работы.

В первой главе представлена методика решения квазистатической задачи термоупругости для цилиндрических тел с учетом температурной зависимости теплофизических и механических характеристик, включая коэффициент теплопоглощательной способности материала.

Методика состоит из двух этапов. Первый этап заключается в решении нелинейной задачи теплопроводности, которую составляют уравнение нестационарной теплопроводности

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda(t)\frac{\partial t}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\lambda(t)\frac{\partial t}{\partial \varphi}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda(t)\frac{\partial t}{\partial z}\right)=c(t)\frac{\partial t}{\partial \tau}, \quad (1)$$

граничное условие на боковой поверхности тела

$$\lambda(t)\frac{\partial t}{\partial r}\bigg|_{r=b}=-\gamma(t)\,q(\varphi,z,\tau), \quad (2)$$

тепловые условия на краях и начальное условие. Здесь $\lambda(t)$, $c(t)$, $\gamma(t)$ – соответственно коэффициенты теплопроводности, объемной теплоемкости и теплопоглощательной способности материала, q – плотность мощности теплового потока, b – радиус цилиндра.

Температурная зависимость коэффициента теплопоглощательной способности моделируется кусочно-непрерывной функцией:

$$\gamma(t_c)=\gamma_0+\sum_{j=1}^{J}(\gamma_j-\gamma_{j-1})\,S_+(t_c-t_j) \quad (3)$$

где

$$\gamma_j=\gamma(t_j),\quad t_{j-1}<t_j,\quad j=\overline{1,J},$$

t_c – температура в характерной точке боковой поверхности. При этом условие (2) приводится к виду

$$\lambda_0\frac{\partial v}{\partial r}\bigg|_{r=b}=\left[\gamma_0+\sum_{j=1}^{J}(\gamma_j-\gamma_{j-1})\,S_+(\tau-\tau_j)\right]q(\varphi,z,\tau) \quad (4)$$

где $\tau = \tau_j$ - моменты времени, при которых температура в характерной точке достигает значения t_j, $S_+(x)$ - асимметричная единичная функция.

В дальнейшем принимается, что зависимость от температуры коэффициентов теплопроводности и объемной теплоемкости носит одинаковый характер, что позволяет линеаризовать исходную задачу теплопроводности при помощи переменной Кирхгофа

$$v = \frac{1}{\lambda_0} \int_{t_0}^{t} \lambda(x)\, dx \tag{5}$$

где t_0 - начальная температура.

Второй этап представленной методики заключается в определении компонент вектора перемещений u_α из системы уравнений равновесия:

$$\left(\Delta - \frac{1}{r^2}\right) u_r + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e}{\partial r} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} = 2 \frac{1+\nu}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial r} \Phi - F_r,$$

$$\left(\Delta - \frac{1}{r^2}\right) u_\varphi + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e}{\partial \varphi} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} = \frac{2}{r} \frac{1+\nu}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial \varphi} \Phi - F_\varphi, \tag{6}$$

$$\Delta u_z + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e}{\partial z} = 2 \frac{1+\nu}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial z} \Phi - F_z,$$

и соответствующих граничных условий. Здесь

$$e = \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{1}{r}\left(\frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + u_r\right) + \frac{\partial u_z}{\partial z}, \quad \Phi = \int_{t_0}^{t} \alpha_t(t)\, dt,$$

$$F_\alpha = \frac{1}{G^2}\left(\frac{\partial G}{\partial r} \sigma_{\alpha r} + \frac{1}{r} \frac{\partial G}{\partial \varphi} \sigma_{\alpha \varphi} + \frac{\partial G}{\partial z} \sigma_{\alpha z}\right), \quad \alpha = r, \varphi, z,$$

Δ - оператор Лапласа, $\nu = const$ - коэффициент Пуассона, $\alpha_t(t)$ - температурный коэффициент линейного расширения, $G = G(t)$ - модуль сдвига.

Решение указанной задачи термоупругости строится с использованием методов возмущений и последовательных приближений. Для этого, воспользовавшись малостью параметра ε, выбранного из температурной зависимости модуля сдвига

$$G(t) = G_0 \exp\left(-\varepsilon \frac{t - t_0}{t_0}\right), \quad (t \geqslant t_0) \tag{7}$$

где $G_0 = G(t_0)$, $\varepsilon \ll 1$,

представим компоненты вектора перемещений и тензора напряжений при помощи асимптотических рядов:

$$(u_\alpha, \sigma_{\alpha\beta}) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n (u_\alpha^{(n)}, \sigma_{\alpha\beta}^{(n)}), \quad (\alpha, \beta = r, \varphi, z) \tag{8}$$

В результате получаем рекуррентную последовательность краевых задач:

при $n = 0$

$$\begin{aligned}
&\left(\Delta - \frac{1}{r^2}\right) u_r^{(0)} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e^{(0)}}{\partial r} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_\varphi^{(0)}}{\partial \varphi} = 2 \frac{1+\nu}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial r} \Phi, \\
&\left(\Delta - \frac{1}{r^2}\right) u_\varphi^{(0)} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e^{(0)}}{\partial \varphi} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r^{(0)}}{\partial \varphi} = \frac{2}{r} \frac{1+\nu}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial \varphi} \Phi, \\
&\Delta u_z^{(0)} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e^{(0)}}{\partial z} = 2 \frac{1+\nu}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial z} \Phi,
\end{aligned} \tag{9}$$

при $n \geqslant 1$

$$\begin{aligned}
&\left(\Delta - \frac{1}{r^2}\right) u_r^{(n)} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e^{(n)}}{\partial r} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_\varphi^{(n)}}{\partial \varphi} = F_r^{(n)}, \\
&\left(\Delta - \frac{1}{r^2}\right) u_\varphi^{(n)} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e^{(n)}}{\partial \varphi} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r^{(n)}}{\partial \varphi} = F_\varphi^{(n)}, \\
&\Delta u_z^{(n)} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e^{(n)}}{\partial z} = F_z^{(n)},
\end{aligned} \tag{10}$$

а также систему соответственных граничных условий. Здесь

$$F_\alpha^{(n)} = \frac{1}{G t_0}\left(\frac{\partial t}{\partial r}\sigma_{\alpha r}^{(n-1)} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial \varphi}\sigma_{\alpha\varphi}^{(n-1)} + \frac{\partial t}{\partial z}\sigma_{\alpha z}^{(n-1)}\right), \quad (\alpha = r, \varphi, z),$$

$$\sigma_{rr}^{(n)} = 2G\left(\frac{\partial u_r^{(n)}}{\partial r} + \frac{\nu}{1-2\nu}\, l^{(n)} - \delta_{no}\,\frac{1+\nu}{1-\nu}\,\Phi\right), \tag{II}$$

$$\sigma_{\varphi\varphi}^{(n)} = 2G\left(\frac{1}{r}\frac{\partial u_\varphi^{(n)}}{\partial \varphi} + \frac{1}{r}u_r^{(n)} + \frac{\nu}{1-2\nu}\, l^{(n)} - \delta_{no}\,\frac{1+\nu}{1-\nu}\,\Phi\right),$$

$$\sigma_{zz}^{(n)} = 2G\left(\frac{\partial u_z^{(n)}}{\partial z} + \frac{\nu}{1-2\nu}\, l^{(n)} - \delta_{no}\,\frac{1+\nu}{1-\nu}\,\Phi\right),$$

δ_{ij} – символ Кронекера.

Полученная последовательность рекуррентных соотношений (9)-(I0) служит для определения компонент вектора перемещений, а следовательно и тензора напряжений.

Во второй главе с применением предложенной методики решена задача термоупругости для термочувствительного цилиндра, нагреваемого равномерно распределенным по боковой поверхности потоком тепла.

Исходная нелинейная задача теплопроводности, линеаризованная при помощи переменной Кирхгофа, решается методом интегрального преобразования Лапласа по времени.

Для рассматриваемого случая рекуррентная последовательность (9)-(II) имеет вид:

при $n = 0$

$$\left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{d}{dr} - \frac{1}{r^2}\right)u_r^{(0)} + \frac{1}{1-2\nu}\,\frac{d\, l^{(0)}}{dr} = 2\,\frac{1+\nu}{1-2\nu}\,\frac{\partial \Phi}{\partial r}, \tag{I2}$$

при $n \geqslant 1$

$$\left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{d}{dr} - \frac{1}{r^2}\right)u_r^{(n)} + \frac{1}{1-2\nu}\,\frac{d\, l^{(n)}}{dr} = \frac{1}{G t_0}\,\frac{\partial t}{\partial r}\,\sigma_{rr}^{(n-1)}, \tag{I3}$$

$$\sigma_{rr}^{(n)} = 2G\left(\frac{d u_r^{(n)}}{dr} + \frac{\nu}{1-2\nu}\, l^{(n)} - \delta_{no}\,\frac{1+\nu}{1-2\nu}\,\Phi\right). \tag{I4}$$

Решения уравнений (I2)-(I3) находятся с использованием рядов Дини и Фурье-Бесселя, а соответствующие им компоненты тензора напряжений - из соотношений (I4).

На основании полученного решения проведены численные исследования температурного поля и напряженного состояния цилиндра, теплофизические и механические характеристики которого соответствуют стали марки 40Х.

Исследовано распределение температуры и компонент тензора напряжений в зависимости от радиальной координаты для различных моментов времени. Изучена также сходимость предложенного итерационного процесса. Показано, что различие между значениями расчетных напряжений, найденных в первом приближении по ε от аналогичных в нулевом приближении составляет 7 %, а для $n \geqslant 2$ погрешность не превышает I %.

<u>В третьей главе</u> приводится решение осесимметричной задачи термоупругости для термочувствительного цилиндра, нагреваемого по боковой поверхности тепловым потоком, плотность мощности которого не зависит от угловой координаты. Для данного случая условие (2) имеет вид:

$$\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial r}\bigg|_{r=b} = -q_0 \gamma(t)\, e^{-kz^2} S_+(\tau) \qquad (I5)$$

где k - коэффициент сосредоточенности теплового потока.

Исходная нелинейная задача теплопроводности, линеаризованная при помощи переменной Кирхгофа, решается методами интегральных преобразований Фурье по осевой координате и Лапласа - по времени.

Последовательность краевых задач (9)-(II) для определения функций $u_r^{(n)}$, $u_z^{(n)}$ в рассматриваемом случае имеет вид:
при $n = 0$

$$\left(\Delta - \frac{1}{r^2}\right) u_r^{(0)} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e^{(0)}}{\partial r} = 2\, \frac{1+\nu}{1-2\nu} \frac{\partial \Phi}{\partial r},$$

$$\Delta u_z^{(0)} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e^{(0)}}{\partial z} = 2\, \frac{1+\nu}{1-2\nu} \frac{\partial \Phi}{\partial z}. \qquad (I6)$$

при $n \geq 1$

$$\left(\Delta - \frac{1}{r^2}\right) u_r^{(n)} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e^{(n)}}{\partial r} = F_r^{(n)},$$

$$\Delta u_z^{(n)} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial e^{(n)}}{\partial z} = F_z^{(n)}, \qquad (17)$$

где

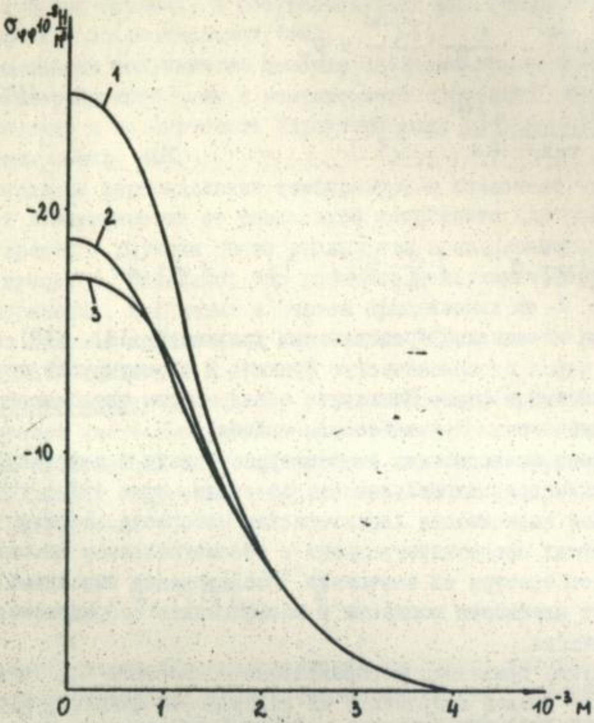
$$F_\alpha^{(n)} = \frac{1}{G t_0}\left(\frac{\partial t}{\partial r} \sigma_{\alpha r}^{(n-1)} + \frac{\partial t}{\partial z} \sigma_{\alpha z}^{(n-1)}\right), \quad (\alpha = r, z).$$

Решения систем дифференциальных уравнений (I6), (I7) представляются через бигармоническую функцию и термоупругий потенциал перемещений в форме Папковича с дальнейшим разложением искомых функций в ряды Фурье-Бесселя и Дини.

Проведены исследования температурного поля и напряженного состояния цилиндра, изготовленного из стали марки 40Х с учетом температурной зависимости характеристик материала, а также при соответствующих среднеинтегральных в рассматриваемом диапазоне изменения температуры их значениях. Исследования выполнены в зависимости от плотности мощности и коэффициента сосредоточенности теплового потока.

На рисунке приведено распределение компоненты $\sigma_{\varphi\varphi}$ тензора напряжений по осевой координате на поверхности цилиндра радиуса 7 мм, нагреваемого потоком тепла (I5) с $q_0 = 150$ Вт/мм^2, $k = 0{,}5$ мм$^{-2}$. Кривая I соответствует решению задачи при зависимых от температуры характеристиках материала, кривая 2 – при постоянном коэффициенте теплопоглощательной способности $\gamma = 0.4$ и зависимых от температуры других характеристиках, а кривая 3 – при среднеинтегральных характеристиках материала.

Из сопоставления приведенных данных видно, что напряжения, найденные с учетом зависимости от температуры характеристик материала, по величине значительно выше найденных при соответствующих среднеинтегральных. В исследуемом случае максимальная величина напряжений, которая достигается на поверхности цилиндра при $z = 0$, с учетом термочувствительности материала на 32 %



выше от соответствующей, расчитаной при среднеинтегральных характеристиках. При этом определяющее влияние оказывает температурная зависимость коэффициента теплопоглощательной способности материала, что следует из сопоставления данных кривых 2 и 3. Здесь различие в максимальных значениях составляет всего лишь 9 %.

В четвертой главе с помощью изложенной ранее методики построено решение трехмерной квазистатической задачи термоупругости для длинного термочувствительного цилиндра, нагреваемого по боковой поверхности концентрированным потоком тепла.

Граничное условие (2) имеет вид:

$$\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial z}\Big|_{z=b} = -q_0 \gamma(t)\, e^{-k(b^2 \sin^2\varphi + z^2)} \cos\varphi \; S_+\left(\frac{\pi}{2} - |\varphi|\right) S_+(\tau)$$

С учетом (3) исходная задача теплопроводности линеаризована с помощью переменной Кирхгофа и решена методами интегральных преобразований Фурье по осевой и угловой координатах и Лапласа - по времени.

Решения уравнений термоупругости (9)-(I0) строятся с использованием представления Р.Муки компонент перемещений через бигармоническую и гармоническую функции, а также при помощи разложения искомых величин в ряды Фурье и Дини.

На основании полученных решений даны количественные зависимости величины и характера распределения температурного поля и напряженного состояния от плотности мощности и коэффициента сосредоточенности теплового потока, а также радиуса цилиндра. Проведены сравнения и указаны различия в распределении напряжений, расчитанных при зависимых от температуры и соответствующих среднеинтегральных характеристиках материала.

На конкретном примере показано, что методика решения рассматриваемых задач термоупругости значительно упрощается в случае, когда зависимости от температуры коэффициентов теплопроводности и линейного расширения носят одинаковый характер.

<u>В заключении</u> приведены основные результаты работы и краткие выводы.

<u>В приложении</u> содержится акт об использовании результатов исследований.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

I. Разработана методика приближенного аналитического решения квазистатических задач термомеханики для термочувствительных цилиндрических тел, теплофизические и механические характеристики которого, включая коэффициент теплопоглощательной способности материала, являются функциями температуры. Методика базируется на использовании переменной Кирхгофа, аппарата интегральных преобразований, метода возмущений и последовательных приближений, а также рядов Фурье, Фурье-Бесселя и Дини.

2. С использованием предложенной методики решена одно-, двуи трехмерная задачи нестационарной теплопроводности и квазистатической термоупругости для длинного термочувствительного цилиндра, нагреваемого по боковой поверхности потоком тепла. Показано, что методика решения рассматриваемых задач термоупругости значительно упрощается в случае, когда зависимости от температуры коэффициентов теплопроводности и линейного расширения носят одинаковый характер.

3. На основе построенных решений выполнены численные исследования влияния температурной зависимости характеристик материала на температурное поле и напряженное состояние цилиндрического тела, нагреваемого по боковой поверхности потоком тепла. Проведены сопоставления полученных результатов расчетов с аналогичными - полученными при соответствующих среднеинтегральных в рассматриваемом диапазоне изменения температур характеристиках материала. Изучены количественные зависимости величины и характера распределения температурного поля и напряженного состояния от плотности мощности и коэффициента сосредоточенности теплового потока, а также радиуса цилиндра.

4. Установлено, что расчетные температура и значения напряжений, найденные с учетом термочувствительности материала, значительно превышают найденные при среднеинтегральных характеристиках материала, а погрешность в исследуемых случаях достигает для температуры 25 % и для напряжений - 32 %. При этом определяющим является влияние температурной зависимости коэффициента теплопоглощательной способности материала.

5. Расчетные значения напряжений на поверхности при радиусе цилиндра более 20 мм, практически не изменяются с увеличением радиуса, что может быть использовано для упрощения исходной математической постановки задачи.

6. Полученные результаты численных исследований могут быть использованы для прогнозирования зон термического влияния, а также при расчете возникающих неупругих деформаций.

7. Сформулированная постановка и построенный алгоритм решения задач об определении термомеханического поведения термочувствительных цилиндрических тел под воздействием потока тепла, позволяют решать аналогичные задачи для других схем и режимов нагрева.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОТРАЖЕНЫ В РАБОТАХ

I. Бернар И.И., Сеник А.П. Неустановившиеся температурные поля и напряжения в бесконечном цилиндре, нагреваемом движущимся по спирали нормально-распределенным тепловым потоком // Материалы XI-ой конф. молодых ученых Ин-та механики АН УССР, - Киев, I986 г. - С.255-260 / Деп. в ВИНИТИ, № 5507-В86 Деп./.

2. Коляно Ю.М., Махоркин И.Н., Сеник А.П. Термоупругое состояние термочувствительных цилиндрических тел при их импульсной термообработке концентрированным потоком энергии // Математическое моделирование технологических процессов обработки материалов давлением. Тез. докл. всеросийской конф., Пермь, I9-2I июня, I990 г. - Пермь, I990. - С.27-28.

3. МахоркIн I.М., Сеник А.П. Розв"язок нелIнIйноI задачI теплопровIдностI для кругового цилIндра при його нагрIваннI нормально-розподIленим потоком тепла // Вестн. Львов. ун-та. Сер. мех.-мат. Вопросы математики и механики. - I990, вып.34.- С.89-92.

4. МахоркIн I.М., Сеник А.П. Застосування узагальнених функцIй в задачI теплопровIдностI для пIвбезмежноI кусково-однорIдноI пластини // Вестн. Львов. ун-та. Сер. мех.-мат. Вопросы действительного и комплексного анализа. - I989, вып.32. - С.43-46.

5. Сеник А.П. Нелинейная задача теплопроводности для цилиндра, нагреваемого сконцентрированным потоком тепла // Материалы XIII конференции молодых ученых Института прикладных проблем мех. и мат. АН УССР. - Львов I989 г. - С.II5-II8 / Деп. в ВИНИТИ. № 7242 - В89 Деп./.

6. Сеник А.П. Термоупругое состояние термочувствительного цилиндра, нагреваемого осесимметрическим потоком тепла // Механика неоднородных структур. Тез. докл. третей Всесоюзной конф. Львов, I7-I9 сентября, I99I г. - Львов, I99I. - С.309.

7. Сеник А.П., Бернар И.И. Нагрев цилиндра нормально распределенным импульсным тепловым потоком // Материалы II конференции молодых ученых и специалистов "Проблемы повышения качества материалов, приборов и оборудования". Секция моделирования физико-механических процессов. Львов, I986. - С.I00-I03 / Деп. в ВИНИТИ. № 7120 - В87 Деп./.

А. Сен

Подписано к печ.18712.91 Формат 60х84/16 Печать офсет. Бумага офсет.
Усл.п.л. 0,93. Усл. кр.-отт I,I7 Уч.-изд.л. 0,8 Тираж I00 экз.
Зак.3278. Бесплатно.

Областная книжная типография, 29000?, Львов, ул. Стефаника,II

Бесплатно.