

УДК 621.791.72.01:536.4:62.50

ОЦЕНКА КИНЕТИКИ ПРОДОЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ СВАРИВАЕМЫХ ПЛАСТИН ПРИ ПОСТРОЕНИИ КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ

А. Ф. Заборянский, В. В. Мелюков, Б. А. Шишов

Вятский государственный технический университет,
г. Киров, Россия

И. В. Зуев, К. Е. Чой

Московский энергетический институт — Технический университет,
Москва, Россия

На основе расчетной модели свариваемых пластин с учетом упругопластического состояния материала исследована кинетика изменения упругих и пластических деформаций в зависимости от изменения температуры с целью оценки основных показателей критерия оптимальности в задаче управления тепловыми процессами сварки.

Обработка материала подвижными концентрированными источниками энергии (сварка, наплавка, резка) сопровождается изменением механических характеристик материала и геометрических размеров обрабатываемого тела. Повышение температуры в зоне нагрева приводит к возникновению упругих и пластических деформаций по всему объему тела.

Построение расчетной модели напряженно-деформированного состояния с учетом только упругих свойств не позволяет с достаточной точностью оценить кинетику деформаций и напряжений в теле, особенно в зоне обработки, где температура и, соответственно, пластические деформации достигают относительно больших значений. Механизм пластических деформаций различен и это приводит к определенным трудностям при построении расчетной модели с учетом пластических свойств материала. Одновременно с повышением температуры понижается предел текучести и активизируются процессы релаксации [1].

Для построения расчетной модели свариваемых пластин с учетом упругопластического состояния материала использована модель идеального упруго-пластического тела с зависимостью предела текучести от температуры. Состояние неупругого деформирования оценивалось механизмом мгновенной пластичности. В качестве расчетной схемы использована одномерная модель напряженного состояния, но при этом учитывались (рис. 1) конечная скорость V перемещения источника и распределение удельного теплового потока q по пятну нагрева [2]. Распределение q по толщине пластины принято равномерным. Подвижная система Ox u связана с источником.

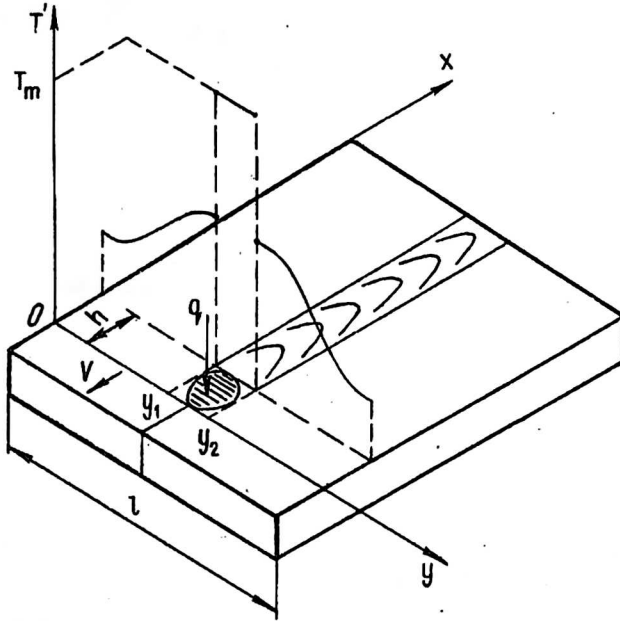


Рис. 1. Схема свариваемых пластин с заданным в сечении $x = h$ распределением температуры T'

Для математического описания расчетной модели использовано уравнение равновесия и уравнение связи между продольными деформациями и напряжениями. Физическая нелинейность в уравнении связи реализуется с помощью итерационной процедуры в процессе изменения функции ψ_p состояния материала.

Функция ψ_l в первом приближении равна $1/E$, где E — модуль Юнга материала.

Продольные нормальные напряжения $\sigma_{i,j}^{(n)}$, вычисленные в точке y_i заданного параллельно оси y поперечного сечения пластин (см. рис. 1) в момент времени t_j на n -й процедуре итерационного процесса, проверяются на соответствие одному из трех условий [1], начиная со значения $\sigma_{i,j}^{(0)}$:

1. Если $|\sigma_{i,j}^{(n-1)}| < \sigma_T(T_{i,j})$,

то $\psi_{1i,j}^{(n)} = p \psi_{1i,j}^{(n-1)} + (1 - p)(1/E)$.

2. Если $|\sigma_{i,j}^{(n-1)}| = \sigma_T(T_{i,j})$,

то $\psi_{1i,j}^{(n)} = \psi_{1i,j}^{(n-1)}$.

3. Если $|\sigma_{i,j}^{(n-1)}| > \sigma_T(T_{i,j})$,

то $\psi_{1i,j}^{(n)} = \psi_{1i,j}^{(n-1)} \left[\sigma_{i,j}^{(n-1)} / \sigma_T(T_{i,j}) \right]^k$.

Итерационный процесс заканчивается, когда функция состояния в точке y_i в момент времени t_j , вычисленная на $(n-1)$ и n -й итерациях, будет удовлетворять условию точности итерационного процесса:

$$\left| \psi_{1i,j}^{(n)} / \psi_{1i,j}^{(n-1)} - 1 \right| < \delta.$$

Здесь p, k, δ — параметры итерационного процесса;

$T_{i,j}$ — температура в точке y_j в момент времени t_j ,

σ_T — предел текучести, принятый с учетом зависимости от температуры.

В данной модели может быть учтена также зависимость модуля Юнга от температуры.

Тепловой процесс сварки рассчитан при перемещении вдоль стыка с конечной скоростью источника нагрева, который имеет равномерное распределение удельного теплового потока q по пятну нагрева [3]. Температура T и продольные сварочные деформации вычислены для сварного соединения пластин из сплава $Zr_{2,5}Nb$ при следующих исходных данных: $l = 10$ см; коэффициент температуропроводности $a = 0,1$ см²/с; объемная теплоемкость $C_V = 2,07$ Дж/(см³ · °С); $V = 0,2$ см/с; $q = 10^3$ Вт/см²; площадь пятна нагрева 1 см²; коэффициент линейного расширения $\alpha = 0,56 \cdot 10^{-5}$ 1/°С; $E = 0,9 \cdot 10^5$ МПа; $\sigma = 300$ МПа; в интервале температур 300—900 °С предел текучести уменьшается до нуля по линейному закону. При этом параметры имели следующие значения: $p = 1$, $k = 1$, $\delta = 0,1$.

На основании расчетной модели получены временные упругие и пластические деформации пластин в процессе сварки и построены кривые изменения этих деформаций в зависимости от изменения температуры. Результаты расчетов временных деформаций и их изменение в зависимости от температуры позволяют оценить напряженно-деформированное состояние пластин в процессе сварки и определить параметры режима, влияющие на прочность и пластичность материала сварного соединения.

Пластические деформации приводят к явлению наклепа, снижают пластические свойства материала и являются одной из основных причин остаточного напряженного состояния. При сварке необходимо создать тепловой режим, обеспечивающий наименьшую ширину зоны и величину пластических деформаций. Ширина зоны пластических деформаций в первом приближении зависит от ширины сварного шва (зоны плавления), а величина пластических деформаций — от максимальных температур нагрева. Эти показатели можно использовать при построении критерия оптимальности в задачах управления тепловым процессом сварки.

В задаче на минимум отклонения истинной температуры T от заданной T' [4] критерий оптимальности построен на невязках этих температур. Форма заданного распределения температуры T' по ширине пластин изображена на рис. 1 в сечении $x = h$, проходящем через хвостовую часть пятна нагрева концентрированного источника. Координаты y_1 , y_2 определяют заданную ширину зоны плавления; T_m — заданная максимальная температура нагрева по ширине зоны плавления; h/V — время нагрева до температур T_m . Выбирая координаты y_1 , y_2 , значение температуры T_m , среднюю скорость изменения температуры $T_m \cdot V/h$ на стадии нагрева и форму заданного распределения температуры T' в зоне термического влияния при $y \in (0, y_1) \cup (y_2, l)$ с учетом предварительной оценки ширины зоны и величины пластических деформаций, можно решать задачу управления сварочными напряжениями и деформациями в пластинах.

Предварительную оценку пластических деформаций и выбор показателей напряженно-деформированного состояния для построения заданного распределения температуры T' можно выполнять с использованием предложенной модели расчета.

Кинетика продольных упругих и пластических деформаций в зависимости от изменения температуры изображена на рис. 2. Кривые изменения этих деформаций в трех точках зоны термического влияния с координатами $y_3 = 2$ см, $y_4 = 3$ см, $y_5 = 4$ см показывают, что в точке y_5 максимальные пластические

деформации почти на порядок превосходят значение пластических деформаций в точке y_4 , а в точке y_3 они равны нулю.

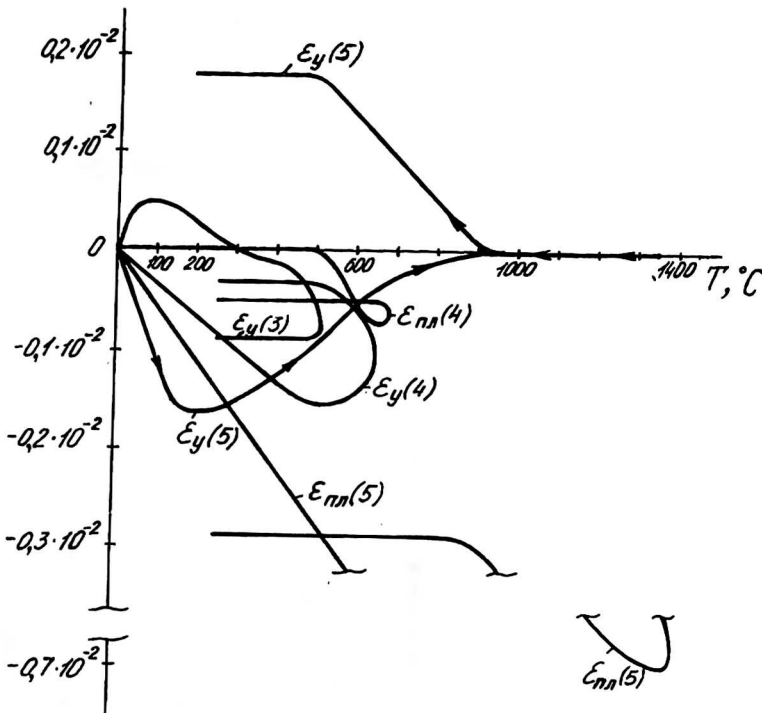


Рис. 2. Кинетика изменения упругих (ϵ_y) и пластических ($\epsilon_{пл}$) деформаций в точках y_3, y_4, y_5 : $\epsilon_y(3), \epsilon_{пл}(3)$ — в точке $y_3 = 2$ см; $\epsilon_y(4), \epsilon_{пл}(4)$ — в точке $y_4 = 3$ см; $\epsilon_y(5), \epsilon_{пл}(5)$ — в точке $y_5 = 4$ см

Подбирая необходимый шаг между точками, можно с достаточной точностью оценить ширину зоны и величину пластических деформаций.

Используя такой метод оценки термодформационного состояния для различных значений y_1, y_2, T_m, V, h , можно построить заданное распределение температуры T' , при котором будет обеспечиваться оптимальное по заданному критерию состояние деформаций и напряжений.

Таким образом, предложена расчетная модель свариваемых пластин с учетом упругопластического состояния материала; которая позволяет исследовать изменения упругих и пластических деформаций в зависимости от изменения температуры и оценить основные показатели критерия оптимальности в задаче управления тепловыми процессами сварки.

Литература

1. Гатовский К. М., Кархин В. А. Теория сварочных деформаций и напряжений. — Л.: Изд-во ЛКИ, 1980. — 329 с.
2. Мелюков В. В. Влияние оптимального теплового режима сварки на остаточные деформации и напряжения сплава $Zr_{2,5}Nb$ // Сварочное производство, 1997. С. 9—12.
3. Мелюков В. В. Моделирование концентрированного источника энергии при оптимизации процесса сварки // Сб. докл. VII Республ. науч.-техн. конф. "Проблемы сварки и смежных технологий". — г. Тбилиси: ТДНТ, 1995. С. 93—100.
4. Мелюков В. В., Углов А. А. Об оптимальном регулировании ширины зоны термического влияния при нагреве стержня // Физика и химия обработки материалов, 1976. № 4. С. 3—7.

**ESTIMATION KINETIC OF LONGITUDINAL PRESSURE
AND DEFORMATIONS WELDED PLATES AT CONSTRUCTION
THE CRITERION OF OPTIMATION**

A. F. Zaborjanski, V. V. Melukov, B. A. Shishov
Vjatka State Technical University, Kirov, Russia

I. V. Zuev, K. E. Choy
*Moscow Power Institute — Technical University,
Moscow, Russia*

On the basis of settlement model of welded plates with account of an elastic — plastic condition of a material is investigated kinetic of change of elastic and plastic deformations depending on change of temperature with the purpose of an estimation of the basic parameters the criterion of optimation in a problem of management by thermal processes of welding.