

УДК 621.791.72.01:536.4:62.50

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЛОКАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ

В. В. Мелюков

Вятский государственный технический университет, г. Киров, Россия

Для эффективного и более точного определения режима обработки материалов концентрированными потоками энергии предложен способ моделирования теплового процесса, основанный на методе обратной задачи. Способ позволяет построить модель устойчивого и управляемого теплового процесса и при помощи методов теории оптимального управления определить форму пятна нагрева и мощность концентрированного источника энергии в зависимости от требуемых свойств материала в зоне обработки и, соответственно, построить оптимальный алгоритм управления процессом обработки при разработке высоких ресурсосберегающих технологий: электронно-лучевой, лазерной, плазменной.

Термические способы обработки материалов концентрированными потоками энергии (КПЭ), применяемые в высокоэффективных, ресурсосберегающих технологиях, позволяют решить ряд важных проблем современного производства наукоемкой продукции [1—7].

Используемые в качестве КПЭ излучение лазера и пучки заряженных частиц (электронов и ионов) из-за физических особенностей формирования и условий воздействия на материал имеют по сравнению с другими источниками (индукционный нагрев, газовое пламя) ряд преимуществ при моделировании технологии и управлении процессом обработки. Свойство безынерционного (скачкообразного) изменения основных параметров (формы пятна нагрева, мощности, распределение удельного теплового потока по пятну и др.) позволяет строить математическую модель обработки КПЭ в более широком классе функций с учетом распределения параметров в пространстве и с достаточной точностью реализовать оптимальные алгоритмы управления.

При обработке поверхности тела КПЭ энергия локализуется в пятне нагрева, размеры которого значительно меньше размеров тела. КПЭ выполняются сварка металлов и неметаллических материалов, локальная термическая обработка, термическая резка, пайка, наплавка, напыление, поверхностное легирование, ионная имплантация, электронная полимеризация, литография и т. д. Характерным признаком концентрированного источника в этих процессах является его перемещение в направлении обработки (вдоль свариваемого стыка или зоны нагрева), а также изменение формы и положения относительно подвижной системы координат, связанных с центром источника [8, 9]. Эти особенности воздействия КПЭ (локальность и подвижность) необходимо учитывать при построении моделей обработки и определении режима воздействия.

При воздействии КПЭ в обрабатываемом материале происходит термодинамическое необратимое превращение энергии, в результате чего возбуждаются процессы тепло- и массопереноса. Эти процессы описываются функциями температуры и концентрации вещества, зависящими не только от времени t , но и от пространственных переменных. Функции, описывающие состояние процесса в пространстве, являются функциями с распределенными параметрами, а моделируемые при помощи этих функций процессы тепло- и массопереноса относятся к системам с распределенными параметрами. Основными математическими моделями систем с распределенными параметрами являются уравнения в частных производных.

Воздействие КПЭ на материал характеризуется совокупностью параметров, общих для всех подвижных источников [9]: интенсивность воздействия $Q(t)$, форма подвижного источника, определяемая функцией Ψ относительно центра источника, параметр формы источника $P(t)$, закон движения источника $S(t)$.

При разработке технологических процессов обработки материалов КПЭ задача определения режима решается эмпирически на основе опыта технолога и наличия справочных материалов или аналитически при помощи методов, разработанных в теории тепловых процессов сварки [2, 3, 10—15]. Расчетные методы основаны на решении прямой задачи теплопроводности, в которой модель источника и режим его воздействия являются исходными величинами. Функция источника q , зависящая в общем случае от Q , Ψ , P , S , задается в соответствии с выбранной схемой источника (точечный, нормально-круговой, полосовой, быстродвижущийся и т. д.), а температура T и зависящие от нее свойства обрабатываемого материала определяются и оцениваются по результатам решения прямой задачи, по распределению температур в зоне обработки, по изменению параметров термических циклов в каждой точке материала.

Определение режима обработки материалов на основе метода прямой задачи теплопроводности используется при исследовании процессов обработки КПЭ и разработке высоких технологий в ведущих отраслях промышленности.

С развитием промышленности и широким внедрением в научной и производственной сферах вычислительных средств имеющиеся методы моделирования теплового процесса обработки КПЭ и расчета режима их воздействия не всегда удовлетворяют исследователей и разработчиков из-за отсутствия в расчетной модели задачи эффективных алгоритмов, позволяющих определить источник в

зависимости от требуемых механических и эксплуатационных свойств материала, из-за невысокой точности расчетов при упрощении моделей и ограничениях, не всегда обоснованных, и, наконец, из-за значительного объема эксперимента на натуральных образцах при отладке режима.

Анализ подходов и способов определения режима показывает [16], что задача определения режима по своей постановке является обратной, для которой характерно нарушение причинно-следственной связи реального теплового процесса. В формулировке задачи определения режима требуется по следствию (требуемым свойствам или заданной температуре T') восстановить причину теплового процесса — источник.

Обратная задача относится к числу труднорешаемых, но в настоящее время имеются разработанные эффективные методы их решения [17—20].

В тех случаях, когда целью решения задачи является определение оптимальных источников, обратная задача может быть поставлена как задача оптимального управления тепловым процессом обработки и решена при помощи методов теории оптимального управления. При постановке обратной задачи на основе линейной модели теплопроводности ее решение может быть получено при помощи принципа максимума и метода моментов для систем с распределенными параметрами и ограничениями на управляющее воздействие q .

В отличие от задач классического вариационного исчисления управление q в этом случае определяется в ограниченной области (от 0 до $q_{\max}$) и является кусочно-непрерывным с конечным числом точек разрыва первого рода. Безынерционное, скачкообразное измерение отдельных параметров КПЭ позволяет более точно моделировать их в классе кусочно-непрерывных (кусочно-постоянных) функций. В наибольшей мере этим свойством обладают пучок электронов и излучение лазера.

Имеется ряд поставленных и решенных задач оптимального управления тепловыми процессами обработки материалов различными источниками, в том числе и концентрированными [8, 9, 21—24], но применительно к процессам сварки, локальной, термической и термоциклической обработки такие исследования на основе оптимальных систем с распределенными параметрами и подвижным воздействием развиты недостаточно. Поэтому при разработке технологических процессов сварки, локальной термической обработки и других видов обработки материалов КПЭ проблема эффективного определения концентрированного источника и режима его воздействия на основе вычислительного эксперимента в зависимости от механических и эксплуатационных свойств материала в зоне обработки остается актуальной.

При определении режима воздействия КПЭ на основе метода обратной задачи исходной величиной является следствие теплового процесса — температурное поле T' , которое задается с учетом требуемых свойств материала в зоне обработки и соответствует конечному состоянию процесса. Заданное распределение температуры T' строится с учетом количественных показателей: формы, размеров зоны обработки (сварного шва) и отдельных участков зоны термического влияния (геометрические показатели), значения и распределения максимальных температур по ширине шва и зоны термического влияния, уменьшающих перегрев металла (показатели теплового состояния), условий кристаллизации сварного шва и локальной термической обработки (технологические показатели), физических свойств (температуры плавления, полиморфных превращений) и структурных особенностей материала. Заданное распределение температуры может строиться также с учетом фазовых переходов и других нелинейностей, связанных с гидродинамикой в ванне и образованием парогазового канала.

Рассмотрим постановку задачи определения концентрированного источника, основанную на методе обратной задачи. Сформулируем задачу для одномерного теплового процесса, к которому сводится расчетная модель теплопроводности в пластине при использовании схемы быстродвижущегося источника [2]. Пусть

источник перемещается в направлении оси x , а оси y, z перпендикулярны перемещению источника. Источник принимаем объемным с равномерным распределением удельного теплового потока q по толщине пластины (вдоль оси z).

Сформулируем задачу 1: пусть вдоль оси y тонкого стержня длиной l задано распределение температуры $T'(y)$, величина которой в точках нагрева $y \in (y_1, y_2)$ равна T_m , а в зоне термического влияния $y \in (0, y_1) \times U(y_2, l)$ — нулю. Найти источник со стационарным распределением удельного теплового потока q , при котором за время t' обеспечивается нагрев стержня от начальной температуры, равной нулю, до температуры $T'(y)$.

Аналитически заданное по условию задачи распределение температуры $T'(y)$ определяется выражением

$$T'(y) = \begin{cases} T_m, & y \in (y_1, y_2) \\ 0, & y \in (0, y_1) \cup (y_2, l) \end{cases} \quad (1)$$

Это распределение $T'(y)$ изображено на рисунке, а (кривая 1) при заданных значениях исходных величин: $y_1 = 3$ см, $y_2 = 7$ см, $l = 10$ см, $T_m = 1000$ °С. При таком распределении температуры (1) устраняется перегрев в центре зоны нагрева, а ширина зоны термического влияния равна нулю.

Зададим адиабатическое состояние теплообмена на торцах стержня и нулевую начальную температуру по его длине. Используя конечное косинус-преобразование Фурье, решение задачи 1 приводим к решению интегрального уравнения Фредгольма первого рода, правая часть которого определяется выражением (1). Решение уравнения получаем в виде следующего ряда [25]:

$$q(y) = T_m C_v \left(\frac{y_2 - y_1}{t'} + 2a \sum_{n=1}^{\infty} \mu_n \frac{\sin \mu_n y_2 - \sin \mu_n y_1}{1 - e^{-a \mu_n^2 t'}} \cos \mu_n y \right), \quad (2)$$

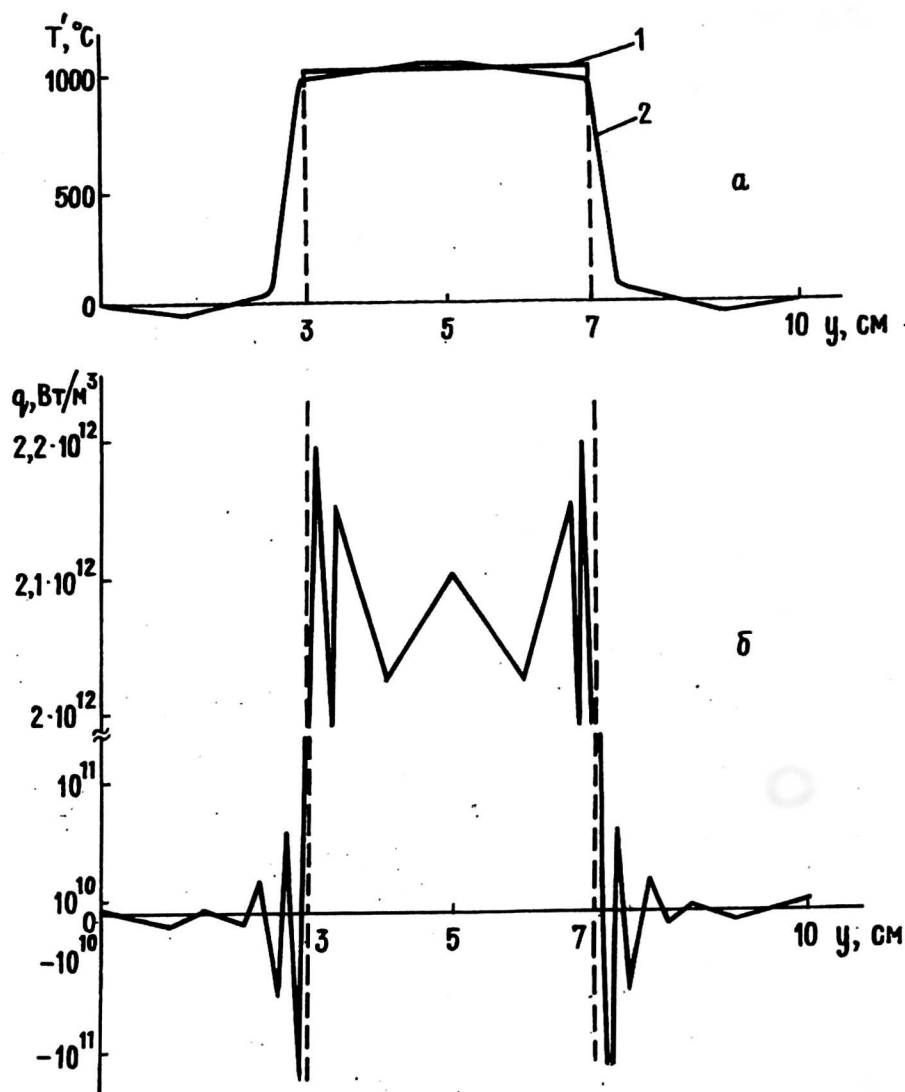
где C_v — объемная теплоемкость;

a — коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала.

Это выражение при $n \rightarrow \infty$ является точным решением задачи 1, реальное использование которого возможно только в виде суммы конечного числа P первых членов ряда, т. е. в действительности мы располагаем приближенным решением $q_p(y)$ поставленной обратной задачи нагрева стержня.

Рассмотрим характер функции (2) при $P \rightarrow \infty$, $y \rightarrow y_1$, $y \rightarrow y_2$. Выполняя эти предельные переходы, получаем, что в окрестностях точек y_1 и y_2 значение удельного теплового потока q стремится к $\pm\infty$, а функция $q(y)$ имеет разрывы второго рода. Бесконечно большие значения удельного теплового потока источников и стоков, обеспечивающих в предельном случае разрывы первого рода функции распределения температуры $T'(y)$ в точках y_1 и y_2 , следуют также из физических аналогий, интерпретирующих тепловой процесс с максимально возможными градиентами температур. Численное решение (2) задачи 1 получено при $a = 10^{-5}$ м²/с, $C_v = 2,07 \cdot 10^6$ Дж/(м³ · °С), $t' = 10$ с. Приближенное распределение плотности теплового потока $q_p(y)$ при $P = 75$ изображено на рисунке 6, а результаты вычислений приведены в таблице.

y , см	T' , °С ($n \rightarrow \infty$)	T' , °С ($n = P$)	q_p , Вт/м ³
2,9	0	769	$-1,12 \cdot 10^{11}$
3	1000	951	$1,02 \cdot 10^{12}$
3,1	1000	958	$2,2 \cdot 10^{12}$



Заданное распределение температуры $T'(y)$:
 кривая 1 — точное T' ; 2 — приближенное T' при $P = 75$ (а);
 приближенное распределение удельного теплового потока q_p источника неограниченной
 мощности при $P = 75$ (б)

Допуская, что полученное решение является единственным, исследуем его на устойчивость. Из теории устойчивости известно [26, 27], что если малым изменениям исходных данных соответствуют большие изменения решения, то решение является неустойчивым. Исходными данными в поставленной задаче является заданное распределение температур $T'(y)$, входящее в правую часть интегрального уравнения.

Из соотношения значений функций (1) и (2) следует, что малым изменениям $T'(y)$ в окрестностях точек y_1, y_2 соответствуют большие изменения $q(y)$. Например, при $P = 75$ (см. рисунок и таблицу) разности $T'_p(3 \cdot 10^{-2}) - T'_p(2,9 \cdot 10^{-2}) = 951^\circ\text{C} - 769^\circ\text{C} = 182^\circ\text{C}$ соответствует изменение удельного теплового потока $q_p(3 \cdot 10^{-2}) - q_p(2,9 \cdot 10^{-2}) = 1,02 \cdot 10^{12} \text{ Вт/м}^3 - (-1,12 \cdot 10^{11} \text{ Вт/м}^3) = 1,13 \cdot 10^{12} \text{ Вт/м}^3$.

Изменение удельного теплового потока не является регулярным, поэтому решение поставленной задачи является неустойчивым к малым изменениям при-

ближения заданного распределения температуры T' . Это значит, что поставленная обратная задача не обладает свойством устойчивости и, следовательно, не является корректно поставленной.

Хотя равенство (2) есть точное решение задачи при исходных данных (1) и процесс нагрева стержня, построенный по условию задачи 1, является управляемым, но в действительности это решение невозможно реализовать из-за отсутствия реальных источников с бесконечным значением удельного теплового потока q , и поэтому процесс нагрева стержня до температур (1) является нереальным (ненаблюдаемым).

В действительности реальные источники КПЭ (пучок электронов, излучение лазера, электрическая дуга, низкотемпературная плазма и т. д.) имеют ограниченную мощность и создают удельные тепловые потоки конечной величины, ограниченные условием

$$0 \leq q(y) \leq q_{\max}(y). \quad (3)$$

При наличии стоков тепла функция $q(y)$ может принимать отрицательные значения и, соответственно, минимальное значение удельного теплового потока в условии (3) будет меньше нуля.

Сформулируем задачу 1 с учетом ограничения (3), характерного для реальных процессов обработки КПЭ.

З а д а ч а 1'. При заданном по условию задачи 1 распределении температур $T'(y)$ найти источник со стационарным распределением удельного теплового потока q , удовлетворяющего условию (3), который за время t' обеспечивает нагрев стержня до температур $T'(y)$.

Анализ решения задачи 1 позволяет качественно убедиться, что в области управлений $q(y)$, ограниченных условием (3), точное (классическое) решение задачи 1' отсутствует и, следовательно, задача 1' является также некорректно поставленной из-за невыполнения первого условия корректности (по Адамару), а процесс нагрева стержня в реальных условиях до температур (1) с разрывами первого рода является неуправляемым.

Очевидно, что решение задач 1 и 1' при исходных данных (1) лишено реального физического смысла из-за того, что это решение является или неустойчивым, или вообще не существует. Однако в действительности при обработке материалов КПЭ (сварке, локальной термической обработке, резке и т. д.) при $q = 10^9 \dots 10^{10}$ Вт/м² мы наблюдаем устойчивые тепловые процессы, возбуждаемые в материале реальным источником нагрева, и управление тепловым процессом является физически детерминированной задачей [3, 4, 28].

Характерным для реальных тепловых процессов является непрерывное распределение температур, которое можно рассматривать как приближение к распределению (1). Поэтому, исходя из физического смысла тепловых процессов обработки, оказывается естественным предположить существование устойчивого решения задачи 1 при условии (3), если заменить правую часть в уравнении Фредгольма ее приближением к (1) в виде непрерывного распределения температур $T'(y)$, изображенного на рисунке, а (кривая 2). Эта специфическая особенность поставленной задачи 1' позволяет предполагать заданным априори существование ее решения. Заданное априори условие существования решения обратной задачи для некоторого приближения исходных данных $T''(y)$ относится к условиям поставленных корректно по Тихонову задач математической физики [29, 30].

Постановка корректных по Тихонову обратных задач теплопроводности применительно к тепловому процессу локальной обработки КПЭ и их решение с применением методов теории оптимального управления рассмотрено в ряде работ, например в [31—35].

В работе [35] сформулирована задача оптимального управления тепловым процессом нагрева стержня источником со стационарным q и выполнено ее решение на основе принципа максимума для систем с распределенными параметрами [8]. Задача сформулирована на результатах анализа решений задач 1 и 1'. Для решения задачи [35] на невязках интегрального уравнения построен квадратичный функционал, в котором независимой переменной является искомая функция $q(y)$. Эта функция, удовлетворяющая ограничению (3), относится к классу кусочно-постоянных и определяет решение поставленной в [35] задачи оптимального управления при минимальном значении функционала.

Для численного поиска минимума функционала разработано специальное программное обеспечение "SPUSK" для ПК IBM. Решение получено при исходных данных задачи 1: $q_{\max} = 10^3$ Вт/м³ и $t' = 2,5$ с. Полученный в результате решения источник имеет стационарную мощность 3500 Вт. За время нагрева от $t = 0$ до $t' = 2,5$ с источник имеет стационарное распределение удельного теплового потока $q = q_{\max}$, разделенное на три части с мощностью 1300, 900 и 1300 Вт в каждой части соответственно. Эти три составные части источника, расположенные по длине стержня симметрично относительно его середины, обеспечивают минимальное отклонение температуры нагрева $T''(y)$ от заданного условием (1) распределения температур $T'(y)$.

Полученная форма оптимального источника реализована при электронно-лучевом нагреве локальной разверткой пучка электронов [36]. Управление локальной разверткой осуществляется изменением тока в системе отклонения пучка по определенному закону колебаний. Управление мощностью пучка и его плотностью осуществляется изменением тока и фокусировки пучка.

Заключение

Рассмотрены подход к задаче моделирования теплового режима локальной обработки материалов КПЭ и способы ее постановки как обратной задачи на основе уравнения теплопроводности. Для одномерной модели поставлена задача теплопроводности, в которой требуется по следствию теплового процесса (свойствам обрабатываемого материала) определить его причину (режим воздействия источника). Показано, что такое решение задачи определения источника и режима его воздействия в линеаризованной постановке может быть получено при помощи методов теории оптимального управления системами с распределенными параметрами. Источник моделируется в классе кусочно-постоянных функций и наиболее точно может быть реализован при электронно-лучевом нагреве или лазерной обработке материалов.

Литература

1. Рыкалин Н. Н. Развитие теплофизики сварочных процессов // Сварочное производство, 1967. № 11. С. 13–18.
2. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. — М.: Машгиз, 1951. — 296 с.
3. Рыкалин Н. Н., Зуев И. В., Углов А. А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. — М.: Машиностроение, 1978. — 239 с.
4. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев, А. Н. Кокора. — М.: Машиностроение, 1985. — 496 с.
5. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов по специальности "Оборудование и технология сварочного производства". В. Н. Волченко, В. И. Ямпольский, В. А. Винокуров и др. / Под ред. В. В. Фролова. — М.: Высш. шк., 1988. — 559 с.
6. Мельников В. П. О состоянии и тенденциях развития сварочной науки, техники и производства // Ресурсосберегающ. технол. в свароч. производстве для машиностр. комплекса. — М.: МДНП, 1989. С. 4–10.
7. Бадьянов Б. Н., Давыдов В. А. Сварочные процессы в электронной технике. — М.: Высш. шк., 1988. — 225 с.

8. Бутковский А. Г., Пустыльников Л. М. Теория подвижного управления с распределенными параметрами. — М.: Наука, 1980. — 384 с.
9. Чубаров Е. П. Управление системами с подвижными источниками воздействия. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 288 с.
10. Математическое моделирование процесса подогрева и термообработки сварных швов электронным лучом / В. М. Язовских. Киев, 1988. — 17 с. / Деп. в ВИНТИ 21.04.1988. № 3065—В 88.
11. Камаев Ю. П., Дилигенский Н. В. Математическое моделирование сигналов и полей: Учебн. пособие. — г. Куйбышев, КПИ, 1977. — 66 с.
12. Махненко В. И., Кравцов Т. Г. Тепловые процессы при механизированной наплавке деталей типа круговых цилиндров. — г. Киев: Наукова думка, 1976. — 159 с.
13. Махненко В. И. Тепловые процессы при сварке // Сварка в СССР. Гл. 2. С. 27—44. — М.: Наука, 1981. Т. 2. — 494 с.
14. Григорьянц А. Г. Расчет тепловых процессов при поверхностной закалке. — М.: Машиностроение, 1983. — 256 с.
15. Определение тепловых полей при сварке колеблющимся электронным пучком / А. В. Башкатов, В. С. Постников, Ф. Н. Рыжков, А. А. Углов // Физика и химия обработки материалов, 1972. № 2. С. 23—29.
16. Мелюков В. В. Оптимальное управление тепловыми процессами при воздействии концентрированных потоков энергии на материалы // В кн.: Воздействие концентрированных потоков энергии на материалы. — М.: Наука, 1985. С. 92—98.
17. Алифанов О. А. Обратные задачи теплообмена. — М.: Машиностроение, 1988. — 280 с.
18. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. — М.: Наука, 1988. — 288 с.
19. Тихонов А. Н. О решении некорректно поставленных задач и методе регуляризации // ДАН СССР, 1963. Т. 151. № 3. С. 501—504.
20. Алифанов О. М. Идентификация процессов теплообмена летательных аппаратов. — М.: Машиностроение, 1979. — 216 с.
21. Дилигенский Н. В., Михеев Ю. В., Савельева А. И. Асимптотический расчет нестационарного нагрева высокопроводящих материалов подвижными концентрированными источниками энергии // Расчет и моделирование тепловых процессов. — г. Куйбышев, КПИ, 1976. Вып. 2. С. 4—9.
22. Дилигенский Н. В., Бажанов В. Л. Оптимальное управление температурным полем быстро движущегося теплового объекта // В кн.: Управление системами с подвижным воздействием. — М.: Наука, 1979. С. 71—81.
23. Раппопорт Э. Я. Подвижное управление в задачах оптимизации индукционного нагрева металла // Там же. С. 82—99.
24. Раппопорт Э. Я. Краевые задачи параметрической оптимизации нестационарных процессов теплопроводности // Управление распределенными системами с подвижным воздействием // Сб. науч. тр. — г. Куйбышев, КПИ, 1983. С. 134—141.
25. Березин И. С., Жидков Н. П. Методы вычислений. — М.: Физматгиз, 1962. Т. 2. — 640 с.
26. Ляпунов А. М. Общие задачи об устойчивости движения. — М. — Л.: Гостехиздат, 1960. — 471 с.
27. Сиразетдинов Т. К. Устойчивость систем с распределенными параметрами. — г. Новосибирск: Наука, 1987. — 232 с.
28. Углов А. А., Селищев С. В. Автоколебательные процессы при воздействии концентрированных потоков энергии. — М.: Наука, 1987. — 150 с.
29. Лаврентьев М. М. О некоторых некорректных задачах математической физики. — г. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд. АН СССР, 1962. — 92 с.
30. Коздoba Л. А., Круковский П. Г. Методы решения обратных задач теплопереноса. — г. Киев: Наукова думка, 1982. — 359 с.
31. Рыкалин Н. Н., Углов А. А., Добровольский И. П., Мелюков В. В. Об оптимальном по быстродействию режиме регулирования термического цикла при нагреве стержня // Физика и химия обработки материалов, 1976. № 5. С. 19—24.
32. Углов А. А., Мелюков В. В. Об оптимальном регулировании ширины зоны термического влияния при нагреве стержня // Там же. № 4. С. 3—7.
33. Мелюков В. В. Оптимизация параметров термического цикла при обработке пластин подвижным источником энергии // Физико-химические процессы обработки материалов концентрированными потоками энергии: Сб. науч. тр. — М.: Наука, 1989. С. 185—193.
34. Коздoba Л. А. Вычислительная теплофизика. — г. Киев: Наукова думка, 1992. — 224 с.
35. Мелюков В. В. Оптимизация теплового режима процесса сварки // Сварочное производство, 1995. № 12. С. 6.
36. Мелюков В. В., Корепанов А. Г. Система моделирования оптимальных режимов и автоматизированного управления процессом электронно-лучевой обработки (сварки) // Актуальные проблемы фундаментальной науки: Международ. науч.-техн. конф., 28 окт. — 3 нояб. : Сб. докл. Т. 4. — М.: Изд-во МГТУ, 1991. С. 74—77.

SIMULATION OF THE OPTIMAL HEAT REGIME FOR LOCAL TREATMENT OF THE MATERIALS BY THE CONCENTRATED ENERGY FLUXES

V. V. Melukov

Vjatka state technical university, Kirov, Russia

To define precisely and effectively the regime of treatment of materials with concentrated energy fluxes the method of simulation of the heat process is proposed which is based on the method of the inverse problem. This method makes it possible to develop the model of the stable and controllable heat process and by using the methods of the theory of optimal control to define the shape of the spot of the heating and the power of the concentrated energy source depending on the required properties of the material in the heat-affected area of the treatment, and respectively to synthesize the optimal algorithm of the treatment process control when developing the resource-saving production technologies: the electron beam technology, the laser technology, the plasma technology.