

Хвиевич В.М., Сазонов М.И., Якушевич С., Довга Ю.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ТЕЛАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ НАГРЕВА

Введение

В технологических процессах упрочнения металлоизделий высококонцентрированными источниками тепла температурное поле является основной физической характеристикой. Зная ее, можно определить температуру материала в любой точке зоны воздействия источника нагрева в различные моменты времени, скорости нагрева и охлаждения, и тем самым, прогнозировать структурные изменения материала. Для этого строятся кривые охлаждения и сравниваются с термокинетическими диаграммами [1].

Степень локализации ввода тепла в область изделия (пятно нагрева) влияет на скорость охлаждения поверхностного слоя металла, структуру и свойства зоны обработки. В общем случае величина скорости охлаждения обычно соответствует концентрации тепловой мощности источника (плазматрон, лазерный луч и т.д.).

Методы исследования

Температуру определяли экспериментально и теоретически. Для экспериментального определения температуры использовали приборную систему (рис. 1) с высокочувствительным датчиком, который размещался в теле образца.

Датчик может быть изготовлен из различных материалов: сталь, медные сплавы, легкие металлы, керамика. Охватываемый диапазон измеряемых температур от 200 до 2200 °С. Время выхода на рабочий режим ~ 400 мкс.



Рис. 1. Приборная система для экспериментального определения температуры.

В состав приборной системы входит цифровой анализатор и компьютер. Система может регистрировать температуру со скоростью 1000 измерений в секунду. Результаты измерений обрабатывались компьютером с помощью программы ANSYS.

Для теоретического определения полей температур решалось уравнение теплопроводности [3].

При воздействии локального источника на тело тепловая нагрузка передается ограниченной площадке. При ориентировании источника перпендикулярно поверхности на ней образуется участок оплавленного материала. Так как оплавление поверхности не цель процесса (значение температуры на поверхности берется как граничная температура плавления), а источник непрерывно перемещается с заданной скоростью, то в первом приближении считалось, что в пятне нагрева температура равна температуре материала и разогрева материала не происходит. Так как зона нагрева материала по глубине составляет величину радиуса R пятна нагружения, то даже для пластины небольшой толщины ($h > 10R$) можно использовать решение для полупространства

$$T(t, r) = \frac{kRq}{2\lambda} \int_0^{\infty} J_0(\varphi r) J_1(\varphi R) \left\{ \exp(-\varphi z) \times \right. \\ \left. \times \Phi^* \left[\frac{z}{2\sqrt{at}} - \lambda\sqrt{at} \right] - \right. \\ \left. - \exp(\varphi z) \Phi^* \left[\frac{z}{2\sqrt{at}} + \lambda\sqrt{at} \right] \right\} \frac{d\varphi}{\varphi}, \quad (1)$$

где T – температура, t – время, q – интенсивность теплового потока источника, λ – коэффициент теплопроводности материала, $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ – расстояние от центра пятна нагрева до рассматриваемой точки, $J_0(\varphi r)$, $J_1(\varphi R)$ – функции Бесселя, Φ^* – функция ошибок, a – коэффициент температуропроводности.

Ввиду сложности (1) и невозможности его интегрирования для вычисления температурного поля принималось скачкообразное перемещение источника на диаметр пятна. Поскольку зона пятна небольшая (1,5 – 2,0 мм), а скорость перемещения источника $V = 4 - 20$ мм/с, то длительность теплового нагружения мала и расчетные точки по шкале времени образуют плотную группу и в этом случае можно построить графики зависимости температуры от времени.

Результаты и их обсуждение

Для определения величины теплового потока и коэффициента теплообмена распределение температуры в зависимости от времени подвергалось соответствующей обработке. Датчик в образце размещался на глубине 0,5 мм. Если он расположен близко от нагреваемой поверхности (расстояние менее чем 0,1 мм) считалось, что с определенной долей по-

Хвиевич Виталий Михайлович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Сазонов Михаил Иванович, д.т.н., профессор кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Довга Юлия Алексеевна, ассистент кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Якушевич Сергей, директор предприятия по производству технологического оснащения Белостокского технического университета, Польша.

грешности измеряемая температура соответствует значениям температуры поверхности образца. Когда расстояние между точкой измерения температуры и поверхностью больше, температура определялась обратным методом, который основан на реализации вариационного уравнения распределения тепла Фурье. Определенная таким способом температура поверхности использовалась в качестве краевых условий Дирихле при численной реализации уравнений теплопроводности методом конечных элементов. При этом принимали, что процесс распространения тепла в нагреваемом теле является одномерным (рис. 2). В такой постановке уравнение теплопроводности имеет вид

$$\rho \cdot c \frac{dT(z,t)}{dt} = \frac{\partial T}{\partial z} \left[\lambda \frac{\partial T(z,r)}{\partial z} \right], \quad (2)$$

где c – коэффициент теплоемкости, ρ – плотность материала, z – ордината в направлении распространения тепла.

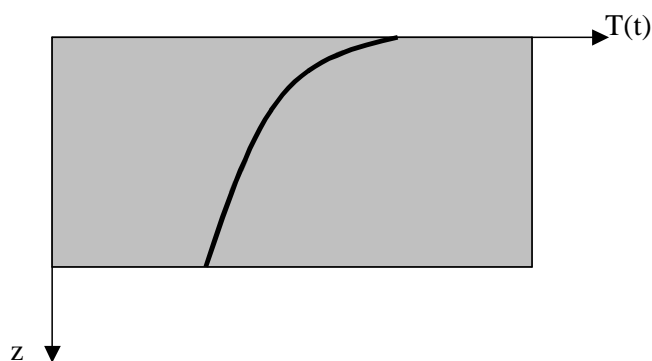


Рис. 2. Схема распространения температуры вглубь образца.

Температура определялась в зависимости от времени t и координаты z путем численного решения уравнения (2). Поток тепла в зависимости от времени определяется как

$$q(t) = \lambda \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (z = 0). \quad (3)$$

коэффициент теплообмена

$$\alpha(t) = q(T_p - T_q), \quad (4)$$

где T_p – температура поверхности, T_q – температура плазменной струи.

В результате проведенных исследований построены графики распределения температуры (рис. 3).

Как отмечено выше, теоретическое определение температуры сводилось к численной реализации уравнения (1). По результатам вычислений построены графики распределения температуры в образцах из стали 45 (рис. 4).

Для расчетов использовали значения коэффициентов теплопроводности λ и теплоемкости C в зависимости от температуры, которые приведены в [4]. Так, например, в указанных диапазонах температуры теплопроводность и теплоемкость вычислялись так:

$$20 \leq T \leq 150^\circ\text{C}, \lambda = 12,6 - 0,443 T,$$

$$150 \leq T \leq 900^\circ\text{C}, \lambda = 52,14 - 0,0296 T,$$

$$20 \leq T \leq 700^\circ\text{C}, C = (3507384,7 + 3132,3 T) / \rho,$$

$$700 \leq T \leq 750^\circ\text{C}, C = (110140T - 71398000) / \rho,$$

$$750 \leq T \leq 900^\circ\text{C}, C = (111812000 + 134140T) / \rho.$$

Значение плотности принималось постоянным и для стали 45 $\rho = 7825 \text{ кг/м}^3$.

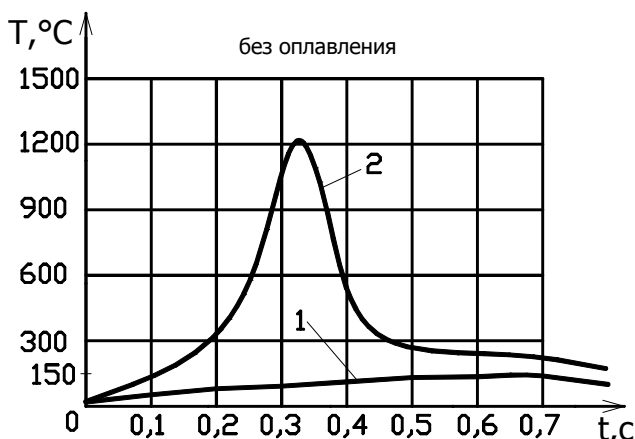
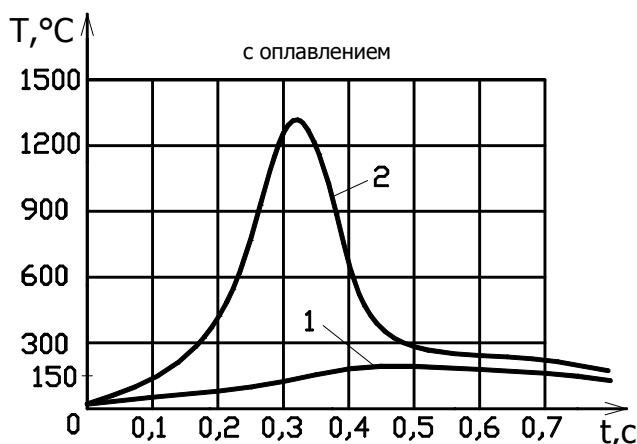


Рис. 3. Графики экспериментальных значений температуры:

- 1) исходные (экспериментальные) значения;
- 2) расчетные значения температуры на поверхности.

Выводы

На основании проведенных исследований можно заключить:

- при помощи приборной системы с высокочувствительным датчиком разработана методика экспериментального определения температуры при воздействии высококонцентрированных источников нагрева;
- разработан алгоритм численного решения задач теплопроводности, возникающих при воздействии движущихся локальных источников нагрева;
- сравнение значений температуры определенных экспериментально и теоретически показало удовлетворительное совпадение результатов;

Проведенные исследования позволили прогнозировать параметры технологических процессов упрочнения с помощью высококонцентрированных движущихся источников тепла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. / Справочник термиста. – М: Металлургия, 1965. – 495 с.
2. C. Bagnoud, M. Plata, S. Jakuszewicz. A new tool for continuously monitoring injection and solidification in vacuum pressure die-casting. Mat. II seminarium naukowo-praktycznego «Energia w nauce i technice». 15 – 17 sierpnia 2003, Suwalki – Bialystok. – s 20 – 27.
3. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964, - 497 с.
4. Варгафтик Н.Б. Теплофизические свойства веществ. / Справочник. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 340 с.

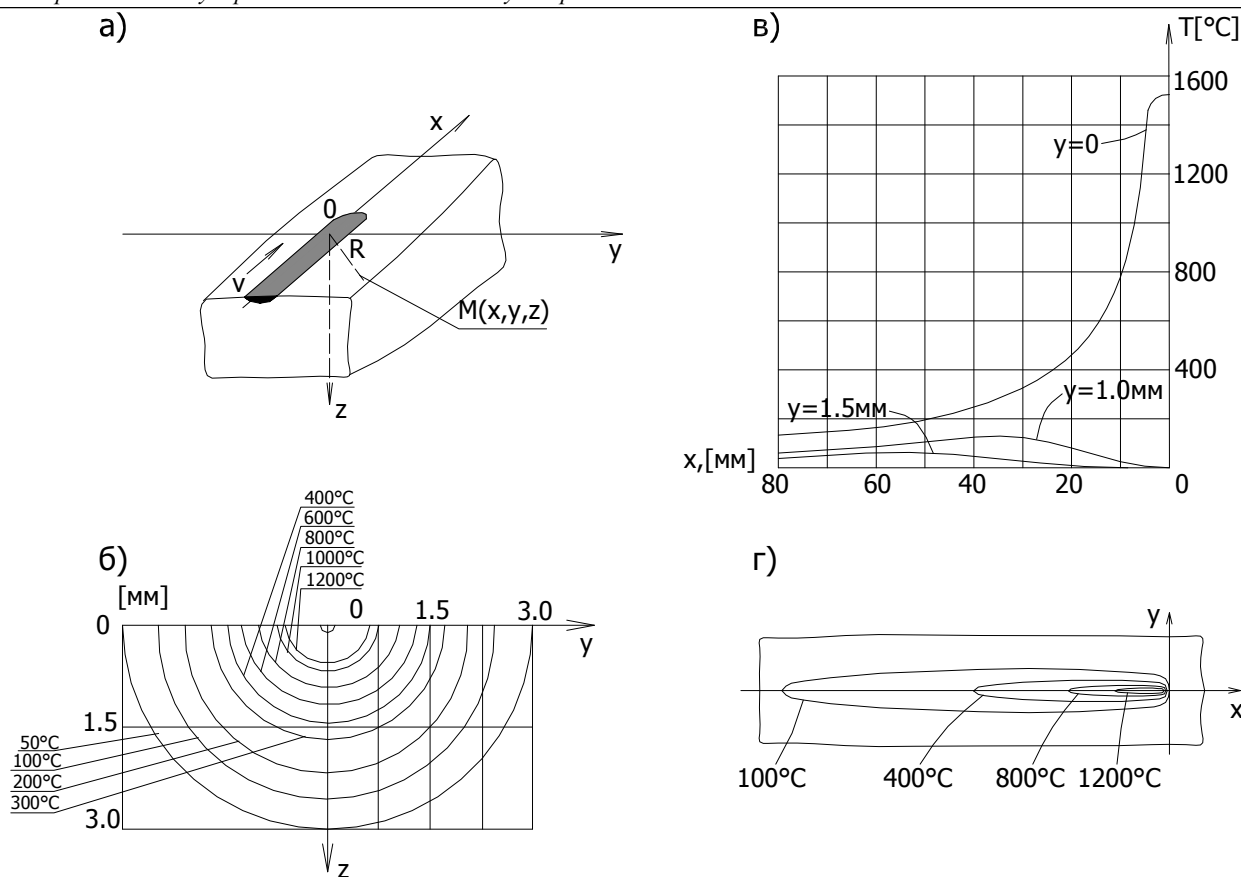


Рис. 4. Распределение температуры в поверхностном слое металла:

- а) схема движения источника нагрева; б) изотермы по глубине поверхностного слоя; в) расчетные значения температуры по глубине образца; г) изотермы на поверхности образца.

УДК

Девойно Ю.О., Авсиевич А.М., Кундас С.П., Марковник Д.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЧАСТИЦАХ ПОРОШКА ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ

При создании прогрессивных технологий нанесения упрочняющих покрытий все большее внимание уделяется применению порошков на основе железа. Это обусловлено в первую очередь невысокой стоимостью таких материалов по сравнению с традиционно широко используемыми порошками на основе никеля, а также рядом технологических преимуществ. Газотермическое напыление может являться как основной операцией, обеспечивающей формирование свойств покрытий, так и предварительной, предшествующей различным способам оплавления или химико-термической обработки.

Наиболее эффективным путем снижения затрат на упрочнение-восстановление деталей напылением является применение недорогих материалов отечественного производства, а чаще всего – использование в качестве сырья отходов метал-

лургических, машиностроительных и других производств. В этом отношении с экономической и технологической точки зрения значительный интерес представляет порошок износостойкого высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2. Этот высоколегированный материал (28 % Cr, 2,5 % C, 2 % Ni, 1 % Mn, остальное Fe), образуется в виде дисперсных частиц оптимальной для напыления сферической формы в результате электроэрозионной обработки. В Беларуси количество таких отходов достигает 60 тонн в год. Согласно проведенному анализу, из них около 25 % имеет грануляцию ниже 160 мкм.

Традиционно материалы сходного химического состава наносились различными видами наплавки, поэтому отработка технологии напыления порошка высокохромистого чугуна представляется актуальной задачей. Существенное влияние

Девойно Ю.О., аспирант кафедры «Технологическая эксплуатация автомобилей» Белорусского национального технического университета.

Авсиевич А.М., кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологическая эксплуатация автомобилей» Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220027, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65.

Кундас Семен Петрович, доктор технических наук, профессор, ректор Международного государственного экологического университета им. А.Д. Сахарова.

Беларусь, МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 220009, г. Минск, ул. Долгобродская, 23.

Марковник Денис Викторович, магистрант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Беларусь, БГУИР, 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6.