

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКЕ

Веремейчик А.И.¹, Сазонов М.И.¹, Хвисевич В.М.¹, Якушевич С.²¹ БрГТУ, г. Брест, Беларусь, E-mail: vai_mrtm@bstu.by² Высшая государственная профессиональная школа, г. Сувалки, Польша

Введение

В любом процессе термообработки конструктивных элементов машин и механизмов (закалке, поверхностном плазменном напылении и т.д.) важным фактором является исследование полей температур [1-5]. Температурное поле является одной из основных физических характеристик поверхностного упрочнения высококонцентрированными источниками нагрева. Зная изменение температуры тела в зависимости от времени, ее установившиеся значения в определенной точке, можно судить (в зависимости от условий обработки, физических свойств тел, окружающей среды) о том, какие процессы термообработки могут быть реализованы. Определение температурного поля в теле детали при нагреве и охлаждении позволяет прогнозировать состав вещества после термообработки, его фазовое и структурное состояние.

В работе рассматривается экспериментальное определение температурных полей при поверхностном плазменном упрочнении стальных изделий.

Экспериментальная часть

Для экспериментального определения температурных полей использовалась разработанная приборная система. В состав системы входят датчик, цифровой анализатор и компьютер. Система позволяет выполнять регистрацию температуры со скоростью 1000 измерений в секунду. Датчик устанавливается в отверстие, выполненное в теле образца на расстоянии 0,5 мм ниже обрабатываемой поверхности. 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. Температура регистрировалась системой, компьютер обрабатывал в данный момент времени тепловой поток, а затем коэффициент теплообмена для каждого момента времени.

Типичная зависимость измеренной температуры от времени в приповерхностном слое стальной пластины при скорости движения плазмотрона $v = 11$ мм/с и токе дуги $I = 27$ А приведено на рисунке 1.

T, °C

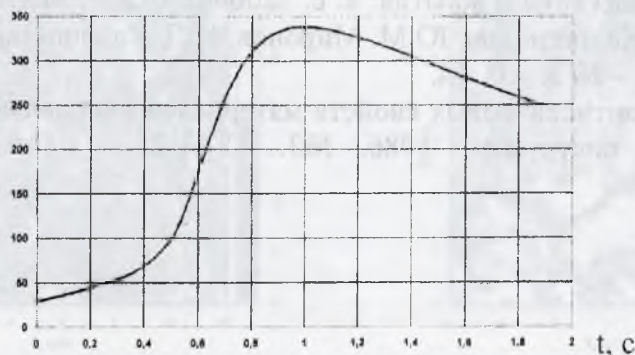


Рис. 1. Экспериментальная зависимость температуры от времени в приповерхностном слое

На основании экспериментальных данных, температура на поверхности в зависимости от времени и на различных глубинах рассчитывалась обратным методом, который построен на реализации вариационного уравнения распределения тепла Фурье. Определенная этим способом температура поверхности используется в качестве граничных краевых условий Дирихле для численной реализации уравнений теплопроводности Фурье методом конечных элементов. При проведении экспериментов полагалось, что процесс распространения тепла является одномерным. В такой постановке уравнение имеет вид:

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

где c – коэффициент теплоемкости; ρ – плотность материала; λ – коэффициент теплопроводности; T – температура; t – время; z – координата в направлении распространения тепла.

Результаты измерений регистрировались компьютером и использовались для дальнейшего анализа с помощью программы ANSYS [2], которая позволяет вычислять температуру в трехмерном измерении во время плазменной обработки. Для расчетов использовались значения коэффициентов теплопроводности λ и теплоемкости C в зависимости от температуры, которые приведены в [6]. Степень локализации ввода тепла в область изделия (пятно нагрева) влияет на скорость охлаждения поверхностного слоя металла, структуру и свойства упрочненной зоны. В общем случае порядок величины скорости охлаждения ($^{\circ}\text{C}/\text{с}$) практически соответствует порядку величины плотности потока плазмы ($\text{Вт}/\text{м}^2$), в нашем случае эта плотность изменялась в пределах $2,5 \cdot 10^7 - 6,0 \cdot 10^7 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Теоретические исследования

Проведены теоретические исследования нестационарных температурных полей с применением функциональных возможностей конечно-элементного комплекса ANSYS. Следует отметить, что основой термического анализа в пакете ANSYS является уравнение теплового баланса, которое получается из принципа сохранения энергии. Конечно-элементное решение заключается в получении значений узловых температур, на основе которых вычисляются остальные термические величины. В ходе проведения вычислительного эксперимента разработана трехмерная модель пластинки, геометрические размеры которой принимались равными $100 \times 100 \times 7$ мм. При решении нестационарной температурной задачи использовался предназначенный для анализа переходных процессов восьмиузловой термический элемент PLANE77, который имеет одну степень свободы (температура в каждой точке). В соответствии со скоростью движения плазменной струи к узлам дискретной модели резца пошагово последовательно прикладывалась температурная нагрузка в виде линейной функции зависимости температуры от времени. Максимальная температура пятна составляет 1200°C (начальная температура 20°C), скорость движения пятна направлена вдоль ребра пластинки и составляет $9,5 \text{ мм}/\text{с}$, материал изделия – сталь. На всех поверхностях модели задавалась конвекция: на поверхности по которой движется плазменная струя коэффициент конвекции составлял $100 \text{ Вт}/(\text{К} \cdot \text{м}^2)$, на всех остальных – $1000 \text{ Вт}/(\text{К} \cdot \text{м}^2)$. Теплопроводность стали принималась равной $39 \text{ Вт}/(\text{К} \cdot \text{м})$. После каждого шага нагружения проводился расчет температурных полей, возникающих в расчетной модели, результаты которого записывались в LS-файлы. Для получения общего решения, необходимо выполнить совместное решение по определенному количеству LS-файлов, указав соответствующее количество шагов. В результате проведенных расчетов получены зависимости полей температур от координат и времени.

Вычислительный эксперимент по нахождению распределения температурных полей проводился для образцов в виде прямоугольных резцов. В ходе его проведения в пакете ANSYS разработана трехмерная модель резца, геометрические размеры которого принимались равными $10 \times 10 \times 50$ мм, угол среза 45° . Максимальная температура пятна составляет 1200°C (начальная температура 20°C), скорость движения пятна направлена вдоль кромки резца и составляет $12,5$ мм/с, материал изделия – сталь. На всех поверхностях модели задавалась конвекция: на поверхности по которой движется плазменная струя коэффициент конвекции составлял 100 Вт/(К·м²), на всех остальных – 1000 Вт/(К·м²). Теплопроводность стали принималась равной 25 Вт/(К·м). В результате проведенных расчетов определены поля температур в различные промежутки времени. В частности, на рисунке 2 показано распределение полей температур на кромке резца в момент времени $0,8$ с.

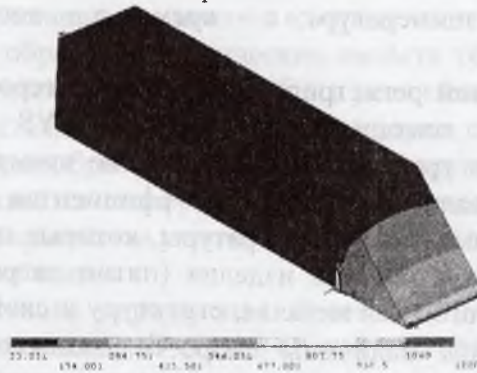


Рис. 2. Поля температур, возникающие на кромке резца к моменту времени $0,8$ с

Заключение

При помощи приборной системы с высокочувствительным датчиком разработана методика экспериментального определения температуры при воздействии высококонцентрированных источников нагрева. Вычисленные значения коэффициента теплообмена для различных параметров нагрева (число Рейнольдса, температура дуги плазмы, расстояние от сопла плазмотрона до обрабатываемой поверхности) позволяют оптимизировать процесс закалки.

Проведены теоретические исследования температурных полей с помощью конечно-элементного комплекса ANSYS. Выполненные расчеты представляют возможность варьирования различными параметрами процесса поверхностной термообработки (скоростью перемещения источника, током дуги и т.д.) для получения требуемых поверхностных свойств конструктивных элементов. Зная значение температуры и напряжения в любой точке тела, можно определить начало и окончание структурных превращений в поверхностном слое металла при воздействии плазменной дуги. Разработанная методика позволяет прогнозировать параметры технологических процессов упрочнения с помощью высококонцентрированных источников нагрева.

Литература

1. Спиридонов Н.В. и др. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин. – Мн. Вышэйшая школа, 1988. – 155с.
2. <http://www.ansys.com>.
3. Кобяков О.С., Гинзбург Е.Г. Поверхностное упрочнение сталей при микродуговом нагреве металла // Машиностроение. – Минск, 1985. – Вып.10. – С.127-130.

4. Chadwick P. Progress in solid mechanics. Thermoelasticity. The dynamical theory. Amsterdam: Pub. Co. Vol. 1. 1961.
5. Кундас С.П. Компьютерное моделирование процессов термической обработки сталей: монография. – Мн.: Бестпринт, 2005. – 313 с.
6. Варгафтик Н.Б. Теплофизические свойства веществ. / Справочник. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 340 с

PICTS СПЕКТРОСКОПИЯ ГЛУБОКОУРОВНЕВЫХ ЦЕНТРОВ МОНОКРИСТАЛЛА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА - ПОЛУПРОВОДНИКА TlGaSe₂.

Одринский А.П.¹, Grivickas V.², Mammadov T.G.³

¹ *Институт Технической Акустики НАНБ, Витебск, Беларусь odra@mail333.com*

² *Institute of Materials Science and Applied Research, Vilnius University, Vilnius, Lithuania*

³ *Institute of Physics Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan*

Дефекты кристаллической структуры слоистых сегнетоэлектриков – полупроводников вызывают интерес как с точки зрения практического применения данных материалов, так и с точки зрения фундаментальной науки, где многие аспекты теории фазовых переходов связывают с электрической активностью дефектов [1]. Применение распространенных методов исследования электрически активных дефектов на данных объектах сталкивается с проблемой неконтролируемой электрической активности внутренних полей, обусловленных доменной структурой кристалла. В этих условиях эффективно применение фотоэлектрической релаксационной спектроскопии (PICTS [2]) - разновидности нестационарной спектроскопии, использующей фотовозбуждение полупроводника. В настоящей работе представлены результаты PICTS исследования собственных дефектов монокристалла TlGaSe₂.

Исследовались выращенные методом Бриджмена—Стокбаргера специально не легированные монокристаллы TlGaSe₂ из разных технологических партий. Кристаллы обладали проводимостью *p*- типа при удельном сопротивлении $L1 \rho = 2 \cdot 10^6$ Ом см, $L3 = 1,3 \cdot 10^6$ Ом см, $Az1 = 3 \cdot 10^6$ Ом см, $Az3 = 2,8 \cdot 10^6$ Ом см. Образцы типично имели размеры 2x4x0.3 мм. Омические контакты формировались пайкой индием на торцевых поверхностях образца. Геометрия протекания тока - вдоль слоев кристалла. Качество контактов оценивали по вольтамперной характеристике, которая была линейна при комнатной температуре. Световое возбуждение с $h\nu < E_g$ падало перпендикулярно поверхности кристалла - плоскости скола, и соответствовало плотности потока фотонов на поверхности образца $\sim 10^{14}$ см⁻² с⁻¹. Измерительная установка и методика измерений описаны в [3]. При регистрации релаксации фототока проводилось поточечное накопление и усреднение кинетики сигнала (64 реализации), содержащей 2000 отсчетов, расположенных через фиксированный интервал времени $\Delta t = 6,3 \cdot 10^{-5}$ с. Регистрация проводилась в процессе нагрева образца со скоростью ~ 2 К/мин в диапазоне температур 78–330 К, с шагом 1 К. Релаксации фотоотклика анализировалась по методикам DLTS [4].