Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Г. Д. Гуреев, Д. М. Гуреев, К вопросу о прогнозировании глубины зоны лазерной закалки, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2008, выпуск 2(), 271–274

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu638>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.80.253.173

26 апреля 2023 г., 15:31:38

Физика твёрдого тела

УДК 621.373.826

К ВОПРОСУ О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ГЛУБИНЫ ЗОНЫ
ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ

Г. Д. Гуреев, Д. М. Гуреев

Самарский государственный технический университет,
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244.

E-mail: anton_gureev@samaradom.ru

В одномерном линейном приближении для случая равномерного распределения плотности мощности лазерного излучения по пятну фокусировки и прямоугольной временной формы лазерного импульса получено простое выражение для прогнозирования глубины зоны импульсной лазерной закалки.

Ключевые слова: импульсная лазерная закалка, расчёт глубины закаленной зоны.

При выборе параметров импульсного лазерного излучения, необходимых для формирования в материале с определенными оптическими и теплофизическими свойствами закаленного слоя заданной толщины, в основном используют решение одномерного линейного уравнения теплопроводности в приближении полубесконечной среды, постоянства плотности мощности лазерного излучения в пределах пятна фокусировки и прямоугольной временной формы лазерного импульса [1]:

$$T(z, t) = \frac{2q(1-R)\sqrt{at}}{\lambda} i \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{at}}\right), \quad (1)$$

где q — плотность мощности лазерного излучения, падающего на поверхность материала; R — коэффициент отражения излучения заданной длины волны поверхностью; a и λ — коэффициенты температуропроводности и теплопроводности материала соответственно; τ — длительность лазерного импульса; z и t — текущие координата и время;

$$i \operatorname{erfc}(x) = \frac{\exp(-x^2)}{\sqrt{\pi}} - x + x \operatorname{erf}(x), \quad \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-y^2) dy$$

— функция интеграла вероятности.

Определение глубины зоны лазерной закалки из выражения (1) представляет собой достаточно трудоемкую задачу. С технологической точки зрения намного удобнее иметь формулу, выражающую в простом аналитическом виде непосредственно зависимость глубины зоны лазерной закалки от параметров лазерного излучения и теплофизических и оптических характеристик материала.

На рис. 1 поточечно представлена функция $i \operatorname{erfc}(x)$, которая в интервале $0 \leq x \leq 0,4$ может быть аппроксимирована функцией

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi} \exp(kx)},$$

Гуреев Глеб Дмитриевич — студент Самарского государственного технического университета.

Гуреев Дмитрий Михайлович — профессор кафедры физики Самарского государственного технического университета; д.ф.-м.н., профессор.

Рис. 1. Функция $i \operatorname{erfc}(x)$ и её аппроксимация в интервале $0 \leq x \leq 0,4$

где $k = 1,86$. Заданным интервалом в основном и ограничивается решение практических задач лазерной закалки. Вследствие такой аппроксимации функции $i \operatorname{erfc}(x)$ в применении к глубине зоны лазерной закалки выражение (1) преобразуется к виду

$$z_* = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{t}{\tau}} \ln \left(\frac{1}{T_*} \sqrt{\frac{t}{\tau}} \right), \quad (2)$$

где $z_* = \frac{z_h}{2\sqrt{a\tau}}$ — приведённая глубина зоны лазерной закалки, z_h — глубина зоны лазерной закалки, $T_* = \frac{A_{c1}}{T_0}$ — приведённая температура закалки, $A_{c1} = 727^\circ\text{C}$ — температура фазового α – γ –превращения в стали,

$$T_0 = T(0, \tau) = \frac{2q(1-R)\sqrt{a\tau}}{\lambda\sqrt{\pi}}.$$

Для $T_0 = 1240^\circ\text{C}$ зависимость z_* от t приведена на рис. 2.

Рис. 2. Временная зависимость приведённой глубины зоны лазерной закалки, соответствующей выражению (2)

Для момента времени $t = \tau$ выражение (2) упрощается до вида

$$z_* = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{1}{T_*}\right). \quad (3)$$

Определяемые из выражения (3) значения z_* хорошо согласуются с экспериментальными и расчётными значениями z_* из работы [1], в которой для расчета z_* используются две полученные ранее независимо друг от друга эмпирические формулы:

$$z_* = (1 - T_*) \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} + \frac{1}{2e} \left(\frac{1}{T_*} - 1 \right) \right], \quad (4)$$

где e — основание натурального логарифма, и

$$z_* = \frac{1,9}{\exp(3,3T_*)}. \quad (5)$$

На рис. 3 приведены зависимости z_* от T_* , соответствующие выражениям (3)–(5). Видно, что практически идеальное согласие наблюдается между зависимостями, задаваемыми выражениями (3) и (4). Вместе с тем полученное в данной работе эмпирическое соотношение (3) по своей простоте и удобству является наиболее предпочтительным при использовании в инженерных расчётах.

Рис. 3. Зависимости приведённой глубины зоны лазерной закалки от приведённой температуры закалки, соответствующие выражениям (3) — кривая 1, (4) — кривая 2 и (5) — кривая 3

Таким образом, в результате проведенных исследований получено простое эмпирическое соотношение для прогнозирования глубины зоны импульсной лазерной закалки, которое позволяет существенно упростить инженерные расчёты при разработке соответствующих технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуреев, Д.М. Основы физики лазеров и лазерной обработки материалов [Текст] / Д. М. Гуреев, С. В. Ямщиков. — Самара: СамГУ, 2001. — 393 с.

Поступила в редакцию 15/X/2008;
в окончательном варианте — 19/X/2008.

MSC: 82D35

TO THE QUESTION OF LASER HARDENING ZONE DEPTH FORECAST

G. D. Gureev, D. M. Gureev

Samara State Technical University,
443100, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244.

E-mail: anton_gureev@samaradom.ru

The simple expression for a prognostication of a pulse laser hardening zone depth was obtained in the one-dimension linear approximation for the even distribution of laser radiation power density on a focal spot and for the right-angled temporal form of a laser pulse.

Key words: *pulse laser hardening, calculation of hardened zone depth.*

Original article submitted 15/X/2008;
revision submitted 19/X/2008.

*Gureev Gleb Dmitrievich, Student of Samara State Technical University.
Gureev Dmitriy Mikhaylovich, Dr. Sci. (Phis. & Math.) Prof., Dept. of Physics of Samara State Technical University.*