

54 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

Полученные данные (см. таблицу) позволяют сделать вывод о том, что предел прочности проволоки с ростом количества изгибов в среднем становится меньше – с 3455 до 3107 МПа, а относительное удлинение проволоки изменяется в пределах 2,20–2,63 %.

Литература

1. Tensile straightening and roller straightening of fine drawn wire / Kazunari Yoshida, Hiroyuki Sato, Tsuyoshi Sugiyama // Tetsu-to-hagane = Journal of the Iron and Steel Institute of Japan. – 2009. – Vol. 95, N 11. – P. 788–793.
2. Проявление эффекта Баушингера при знакопеременной деформации / Р. Р. Адигамов, В. А. Андреев, С. О. Рогачев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. – 2022. – Т. 65, № 7. – С. 455–466. – DOI 10.17073/0368-0797-2022-7-455-466
3. Бобарикин, Ю. Л. Тонкое волочение и свивка в металлокорд стальной латунированной проволоки / Ю. Л. Бобарикин, М. Н. Верещагин, Ю. В. Мартьянов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 304 с. : ил.

УДК 621.785.54

НАГРЕВ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ СКАНИРОВАНИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЛАЗЕРА С РАЗЛИЧНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПЕРЕКРЫТИЯ

М. Ю. Целуев, С. Н. Целуева

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

На примере быстрорежущей инструментальной стали теоретически рассмотрены особенности формирования температурного поля заготовки при сканировании излучения непрерывного лазера с различной величиной коэффициента перекрытия.

Ключевые слова: лазерный нагрев, температурное поле, коэффициент перекрытия.

STEEL SAMPLE HEATING BY OSCILLATING LASER BEAM WITH DIFFERENT OVERLAP RATIO

M. Yu. Tseluev, S. N. Tselueva

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

On high-speed steel example were analytically studied a steel sample heating process by oscillating laser beam with different overlap ratio.

Keywords: laser heating, temperature field, overlap ratio.

С совершенствованием оборудования и аппаратуры технология лазерной закалки находит все более широкое применение для повышения твердости, улучшения износостойкости и сопротивления усталостному разрушению поверхностных слоев деформирующего и режущего инструмента, деталей машин и механизмов различного назначения [1, 2]. К настоящему времени выполнен ряд экспериментальных и теоретических исследований [1–3], по результатам которых разработаны практические рекомендации, предложены технологические схемы и режимы лазерной поверхностной закалки сталей различного химического состава. Однако до настоящего времени вопрос поиска оптимальных технологических параметров обработки излучением лазера,

обеспечивающих высокие показатели качества закаленного поверхностного слоя стальных деталей, является важной и актуальной научно-технической задачей в технологии термической обработки стали.

Целью работы является теоретическое исследование особенностей нагрева поверхности стальной заготовки при закалке сканированием излучения лазера по полосовой области с различными коэффициентами перекрытия.

Методы исследований. На основе закономерностей классической теории теплопроводности в работе [3] сформулирована тепловая задача нагрева и последующего охлаждения массивной стальной заготовки при сканировании по полосовой области ее плоской поверхности излучения непрерывного лазера с нормально-круговым распределением плотности мощности в поперечном сечении луча и регулированием мощности лазера во времени. Решение тепловой задачи, полученное методом тепловых источников, имеет вид [3]:

$$T = T_0 + \frac{2(1-r)}{c[4\pi d]^{3/2}} \int_0^t \frac{P(t')}{[t-t']^{1/2} [t_0+t-t']} \exp\left(-\frac{z^2}{4d[t-t']} - \frac{[x-Vt']^2 + [y-A\sin(2\pi ft')]^2}{4d[t_0+t-t']}\right) dt', \quad (1)$$

где $T = T(x, y, z, t)$ – нестационарное температурное поле заготовки, зависящее от координат x , y и z прямоугольной координатной системы и времени t ; T_0 – температура окружающей среды; r – коэффициент отражения излучения лазера от поверхности; c – объемная теплоемкость материала; d – температуропроводность материала; $P = P(t)$ – зависимость мощности излучения лазера от времени; $t_0 = [4md]^{-1}$ – постоянная времени; $m = 3/R^2$ – коэффициент сосредоточенности теплового источника; $2R$ – диаметр пятна нагрева на поверхности заготовки; V – скорость продольного перемещения излучения лазера; $2A$ – ширина полосовой области сканирования; f – частота колебаний излучения лазера при сканировании.

Зависимость изменения мощности излучения $P = P(t)$, обеспечивающая улучшение равномерности распределения энергии лазера по ширине полосовой области сканирования поверхности заготовки, имеет следующий вид [3]:

$$P = P_m |\cos(2\pi ft)|, \quad (2)$$

где P_m – максимальная мощность лазера на оси $y = 0$ полосовой области поверхности заготовки.

Особенности формирования температурного поля при сканировании излучения лазера по полосовой области плоской поверхности заготовки исследовали путем численного решения математической модели (1). Для целей исследования была разработана компьютерная программа, написанная на языке FORTRAN, в которой вычисление определенного интеграла, входящего в (1), осуществлялось с помощью подпрограммы QAG библиотеки алгоритмов численного интегрирования QUADPACK. Расчеты выполняли для оптических и теплофизических характеристик, характерных для быстрорежущей стали Р6М5, для случая регулирования мощности излучения итербиевого лазера (длина волны $\lambda = 1070$ нм) в соответствии с выражением (2). Ширина полосовой области сканирования лазера составляла $2A = 6$ мм,

56 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

диаметр пятна излучения на поверхности заготовки – $2R = 0,7$ мм, частота сканирования – $f = 220$ Гц. В качестве варьируемого параметра использовали коэффициент перекрытия $K = V/(2Rf)$ дорожек лазерного излучения, который изменялся в пределах от 0,05 до 0,5. Расчеты температурного поля осуществлялись при значениях максимальной мощности P_m излучения лазера, определяемой расчетом из условия отсутствия плавления поверхности заготовки.

Полученные результаты. Как видно из графических данных, приведенных на рис. 1, при сканировании излучения с регулированием мощности лазера в соответствии с зависимостью (2) по ширине полосовой области поверхности заготовки наблюдается один максимум температуры, перемещающийся вместе с движением пятна нагрева. Согласно кривой 3, в конце каждого цикла колебания луча лазера формируется близкое к однородному распределение температуры на поверхности заготовки по ширине полосовой области. Отношение максимальной температуры к минимальной температуре поверхности в пределах ширины $2A$ полосовой области нагрева для коэффициента перекрытия 0,05 составляет 1,065.

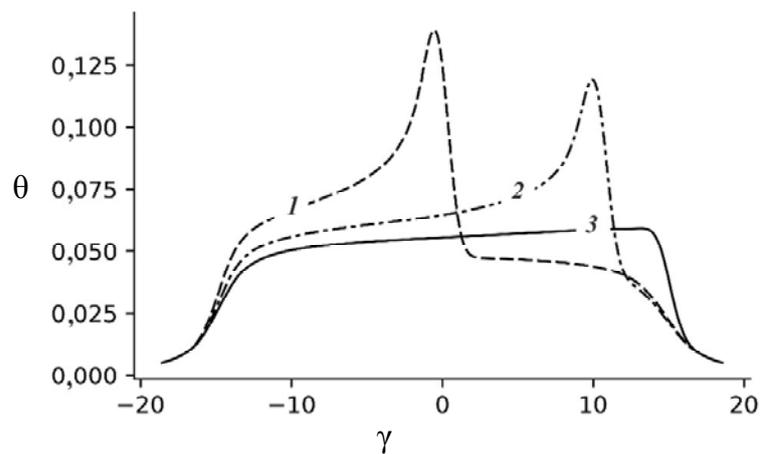


Рис. 1. Зависимость безразмерной температуры $\theta = \pi k(T - T_0)/(P_m m^{1/2})$ на поверхности заготовки от безразмерной координаты $\gamma = um^{1/2}$ при сканировании излучения лазера с коэффициентом перекрытия $K = 0,05$ для различных положений центра пятна нагрева по ширине полосовой области сканирования:
1 – $A/y = 0$; 2 – 0,5; 3 – 1

Графические зависимости, представленные на рис. 2, свидетельствуют о росте неравномерности распределения температуры по ширине полосовой области сканирования излучения лазера при увеличении коэффициента перекрытия. Относительный перепад температуры между центром и краем полосовой области сканирования излучения лазера при изменении коэффициента перекрытия от 0,05 до 0,5 практически линейно увеличивается от 0,065 до 1,044.

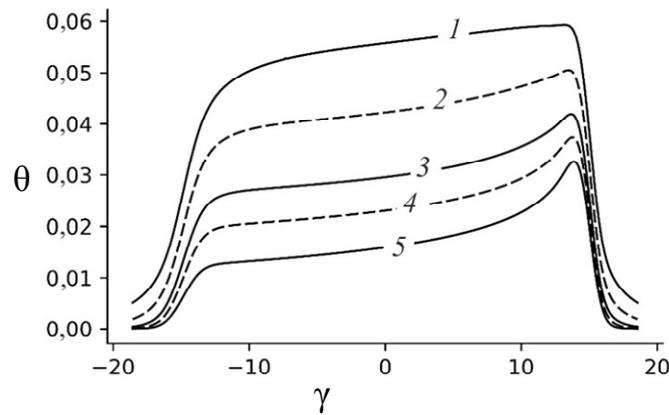


Рис. 2. Зависимость безразмерной температуры θ на поверхности заготовки от безразмерной координаты γ в момент положения центра пятна нагрева на краю полосовой области сканирования для коэффициентов перекрытия излучения:
 1 – $K = 0,05$; 2 – $0,10$; 3 – $0,20$; 4 – $0,30$; 5 – $0,50$

На основе теоретических исследований показана зависимость неравномерности распределения температуры в заготовке по ширине полосовой области сканирования луча лазера от величины перекрытия пятна излучения. Для рассмотренных условий нагрева заготовки относительный перепад температуры между центром и краем полосовой области сканирования излучения лазера при изменении коэффициента перекрытия от 0,05 до 0,5 практически линейно увеличивается от 0,065 до 1,044.

Литература

1. Майоров, В. С. Лазерное упрочнение металлов / В. С. Майоров // Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных и прикладных разработок / под ред. В. Я. Панченко. – Москва, 2009. – С. 439–469.
2. Девойно, О. Г. Моделирование поверхностной закалки с использованием сканирующего оптоволоконного лазера / О. Г. Девойно, В. В. Жарский, А. П. Пилипчук // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2018. – Т. 63, № 4. – С. 435–443.
3. Целуева, С. Н. Температурное поле стальной заготовки при закалке сканированием излучения непрерывного лазера / С. Н. Целуева, М. Ю. Целуев, С. И. Красюк // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сб. науч.х ст. 7-й Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. / НТЦК ОАО «Гомсельмаш». – Гомель, 2023. – Ч. 2. – С. 41–46.

УДК 669.017; 539.213

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ НАИЛУЧШУЮ АДГЕЗИЮ ПРИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

В. Ю. Процко, Д. Л. Стасенко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Показано, что предварительная обработка поверхности основы является важным фактором для обеспечения прочного сцепления напыленного слоя с материалом основы.