

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДИАМЕТРА УЧАСТКА НАГРЕТОГО ИЗДЕЛИЯ

В.А. Порев, А.С. Томашук

НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского». 03056, г. Киев, просп. Победы, 37.
E-mail: tomashuk.alexander@gmail.com

В процессе высокотемпературного изготовления или обработки цилиндрического изделия необходимо получать информацию о его энергетических и геометрических параметрах. Для достижения поставленной цели наиболее удачным решением станет использование оптических методов и методов цифровой обработки изображений. Оптические методы, которые основаны на законах геометрической оптики, преломления, интерференции и дифракции, позволяют производить измерения требуемых параметров с высокой точностью, что позволяет совершенствовать качество изготавливаемого изделия. В работе описаны математическая модель и конструкция оптического устройства для проведения процедур измерений диаметра и температуры с высокой точностью. Методы позволяют производить контроль диаметра и температуры на расфокусированном изображении. Результаты разработки оптического устройства привязаны к математической модели бесфильтрного волочения проволоки, как одного из высокотемпературных процессов. Результаты калибровки устройства по температуре показали некоторые преимущества использования предложенного бесконтактного метода над контактными – термометра с термопарой. Предложен подход для измерения температуры поверхности изделия, которое движется с некоторой скоростью, которая равна скорости формирования изображения. Данный подход основан на методах цифровой обработки изображений. Библиогр. 21, рис. 6.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, оптика, дифракция, температура, диаметр, эффект памяти формы, производственный процесс

Высокотемпературные производственные процессы подразумевают использование контроля энергетических и геометрических параметров изделия, которое изготавливается (горячий прокат, бесфильтренное волочение и др.) или обрабатывается (гомогенность сплава, зонная перекристаллизация и др.).

Если изделие имеет цилиндрическую форму, а его нагрев является бесконтактным, к примеру, с использованием индукционного нагревателя, то в таком случае можно использовать оптические методы неразрушающего контроля для оценки состояния деформации его поверхности.

В процессе оптического контроля изделий небольшого диаметра обычно требуется применение методов и оптических законов, которые предполагают высокоточное измерение параметров этого изделия – температурное распределение на его поверхности и геометрические параметры (диаметр, овальность и др.).

Для осуществления высокоточных измерений геометрических параметров изделий возможно применение законов интерференции (голография) и, как частный случай интерференции – дифракции (формирование зон Френеля) [1–3].

Для осуществления высокоточных измерений энергетических параметров изделий, к примеру, при проведении оптической пирометрии, возможно применение законов преломления и дифракции.

Высокотемпературные процессы и материалы.

Применение оптического устройства для высокоточных измерений одновременно двух параметров нагретого изделия возможны в следующих высокотемпературных процессах:

- при получении монокристаллов (бестигельная зонная плавка [4–6]);
- в процессе гомогенизации сплава;

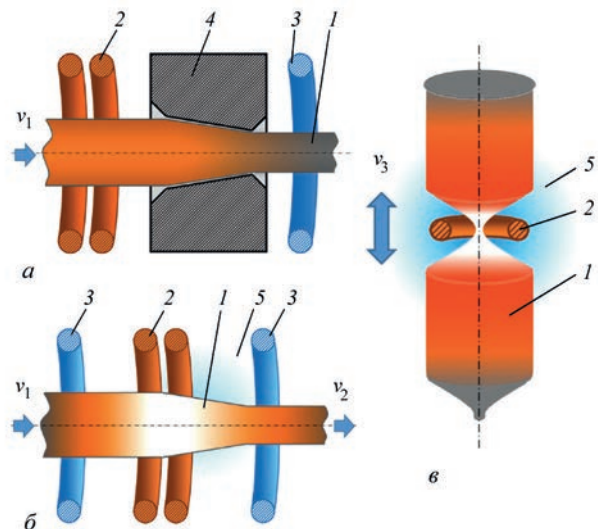


Рис. 1. Схемы высокотемпературных процессов: а – горячее волочение; б – бесфильтренное волочение; в – бестигельная зонная плавка (1 – изделие; 2 – элемент для бесконтактного нагрева участка изделия; 3 – элемент для бесконтактного охлаждения участка изделия; 4 – инструмент для обжатия материала; 5 – атмосфера; v_1 – скорость подачи; v_2 – скорость волочения; v_3 – скорость перемещения элемента для бесконтактного нагрева участка изделия)

- в процессах обработки давлением – горячего проката и горячего волочения [7];
- в процессе ротационнойковки;
- в процессе бесфильтрного волочения [8–12];
- в других родственных процессах (к примеру, 4D печать) [13].

На рис. 1 показаны некоторые схемы высокотемпературных процессов для общего ознакомления.

На рис. 2 показана схема бесфильтрного волочения. За предложенной моделью из работы [12], которая выражает потери тепла, принимаем в параметры: продольную координату x , температуру поверхности изделия T , время t_b площадь A поперечного сечения изделия в заданной координате $x_{пр}$, при этом площадь $A = \pi R_{изд}^2$, где $R_{изд}$ – радиус изделия. Данное выражение из предложенной модели имеет следующий вид:

$$Q_L(t_b, x_{пр}) = 2\sqrt{\pi A(t_b, x_{пр})} \times h(T(t_b, x_{пр}) - T_0) dx_{пр} \quad (1)$$

где h – коэффициент переноса охлаждения; T_0 – температура размягчения, причем $T_0 < T$.

Приоритетными материалами, которые подвергаются высокотемпературным процессам изготовления и обработки, являются:

- сплавы с эффектом памяти формы, такие как, NiTi (гомогенность, обработка давлением) [14, 15];
- металлы повышенной сложности обработки (к примеру, вольфрам);
- монокристаллы металлов и неметаллов (к примеру, кремний).

Измерение диаметра изделия. Выполнить измерение линейного размера объекта с высокой точностью можно с помощью подхода, который сочетает в себе законы геометрической оптики и формирования зон Френеля – дифракционный

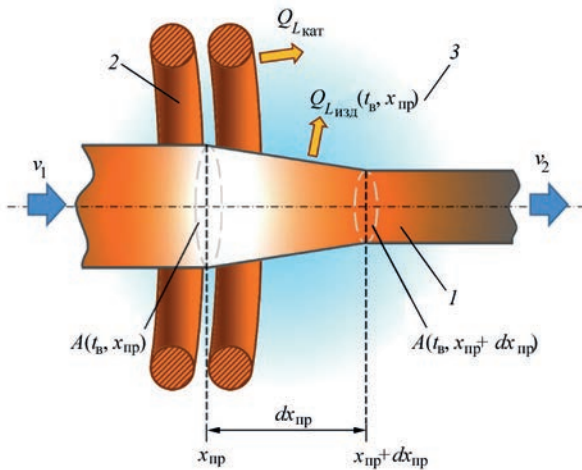


Рис. 2. Схема бесфильтрного волочения изделия: 1 – изделие; 2 – индукционная катушка; 3 – инертная атмосфера (остальные обозначения см. в тексте)

метод. Устройство для измерения диаметра протяженных цилиндрических изделий, которое использует этот метод, описано в работе [2].

В основе подхода лежит использование точечного источника освещения для подсвечивания объекта, геометрические параметры которого исследуются, системы для регистрации изображения его тени и образовавшейся на границе тени дифракционной картины, а также манипуляции в дистанциях между ними. Если между изделием и регистрирующей системой располагается еще и оптическая

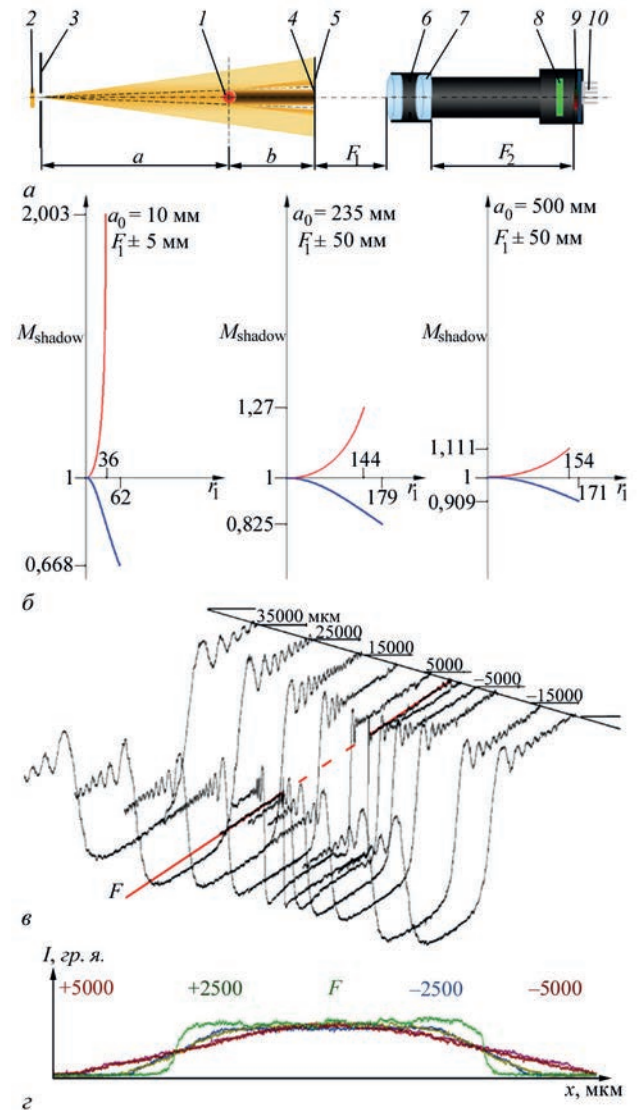


Рис. 3. Схема формирования изображения нагретого изделия оптической системой: а – схема получения тени изделия и дифракционной картины; б – отношение масштаба к радиусу первой зоны Френеля; в – отношение полученного изображения от дистанции между изделием и точкой фокусирования лучей оптической системой; г – распределение яркости изображения нагретого изделия. 1 – изделие; 2, 3 – светодиоды и щель (имитация точечного источника освещения); 4 – тень; 5 – дифракционная картина; 6 – диафрагма; 7 – линза; 8 – светофильтр; 9 – приемник излучения; 10 – система охлаждения; а – дистанция между точечным источником и изделием; b – дистанция между изделием и оптической системой; F_1 и F_2 – переднее и заднее фокусные расстояния

система (объектив) для проведения одновременно-го контроля диаметра и температуры поверхности изделия, то должно соблюдаться условие $r_1 \geq y_{\text{мин}}$, где r_1 – радиус первой зоны Френеля, а $y_{\text{мин}}$ – минимальная разрешающая способность.

На рис. 3 показана схема формирования изображения нагретого изделия с использованием известного дифракционного метода и оптической системы [16].

Масштаб линейного увеличения оптической системы $M_{\text{ос}}$ выражается

$$M_{\text{ос}} = (n_1 F_2) / (n_2 F_1), \quad (2)$$

где n_1, n_2 – показатели преломления в средах, со стороны изделия и приемника излучения, соответственно.

Масштаб тени $M_{\text{тени}}$ выражается

$$M_{\text{тени}} = b\lambda / r_1^2, \quad (3)$$

где λ – длина волны.

На рис. 4 показана схема определения диаметра изделия с использованием известного дифракционного метода.

Радиус первой зоны Френеля может быть получен из уравнения

$$r_1 = \Delta_r r_1 (r_3 - r_1) = 1,366 \Delta_r. \quad (4)$$

Для осуществления измерения дистанции b , предварительно, формируется база данных из, по крайней мере, двух массивов значений $M_{\text{тени}}$ и r_1 , как показано на рис. 3, б [16]. После измерения радиусов первых зон Френеля можно провести измерение дистанции b по уравнению (3).

Измерение диаметра можно провести с помощью уравнения

$$D_{\text{изд}} = l_{\text{эл}} ((x_{\text{пр}} - x_{\text{л}}) / (M_{\text{ос}} M_{\text{тени}})) - 2btg\beta, \quad (5)$$

где $l_{\text{эл}}$ – физический размер стороны одного фотоэлектрического элемента; β – угол, который показывает как распределяется пучок при изменении дистанции между изделием и точкой фокуса.

На рис. 5 показан график отношения результатов измеренных диаметров проволок различных диаметров от дистанции b между проволокой и точкой фокусирования лучей оптической системой. Из графика видна зависимость расхождения пучка от пространственной частоты (диаметр изделия).

Измерение температуры изделия. Гауссово распределение амплитуды (яркости изделия) после прохождения через линзу выражается как (подробнее в работе [17])

$$a(m, n) = \frac{2\pi}{K} a_0 \frac{\omega_0^2}{\sqrt{\omega_0^4 + (Z/k)^2}} \times \exp\left(-\frac{m^2 + n^2}{2\omega^2}\right) \times \cos\left(\omega t_M - K \left[Z + \frac{m^2 + n^2}{2} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{F} \right) \right] - \alpha\right), \quad (6)$$

где m, n – пространственные координаты; K – волновое число; a_0 – начальное распределение амплитуды; ω_0, ω – ширина распределения интенсивности поля, начальная и на расстоянии Z , соответственно; Z – расстояние до плоскости линзы; t_M – момент времени; R – радиус кривизны; F – фокусное расстояние линзы.

На рис. 3, з показано распределение яркости, которое было получено экспериментально. Из результата видно, что для измерений температуры поверхности нагретого изделия можно использовать центральную точку в распределении яркости, которая соответствует продольной координате $x_{\text{пр}}$, которую можно наблюдать в параметрах в уравнении (1).

Суммарный поток излучения $\Phi_{\Sigma}(x, y, \lambda)$ может быть выражен с помощью следующих компонентов [18]: $\tau_{\text{ср}}$ – коэффициент пропускания среды (атмосферы); $\Phi_{\text{изд}}$ – поток излучения, который образован нагретым изделием; $\Phi_{\text{подсв}}$ – поток излучения, который был образован точечным источником излучения; $\tau_{\text{изд}}$ – коэффициент пропускания изделия, для металлов и сплавов равен 1; $\Phi_{\text{внеш}}$ – поток излучения, который образован внешним источником излучения; $\rho_{\text{изд}}$ – коэффициент отражения изделия, причем каждый из компонентов принимает в параметры (x, y, λ) , и выражается

$$\Phi_{\Sigma} = \tau_{\text{ср}} (\Phi_{\text{изд}} + \Phi_{\text{подсв}} \tau_{\text{изд}} + \Phi_{\text{внеш}} \rho_{\text{изд}}). \quad (7)$$

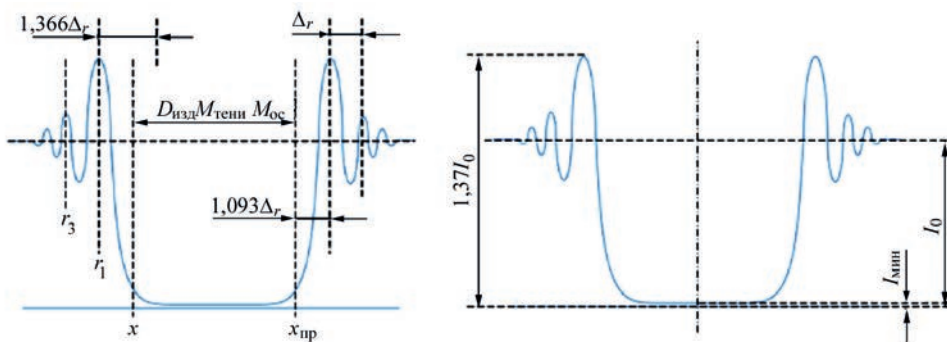


Рис. 4. Схема определения диаметра изделия известным дифракционным методом: Δ_r – длина между двумя зонами Френеля; I_0 – яркость фона; $I_{\text{мин}}$ – минимальная яркость

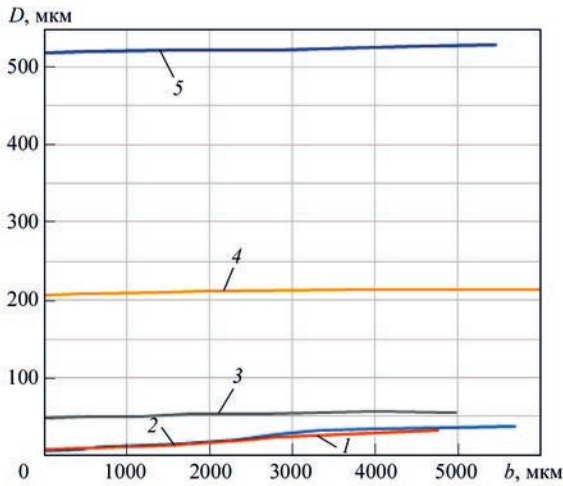


Рис. 5. Отношение результатов измеренных диаметров проволок от дистанции b между проволокой и точкой фокуса: 1 – углеродное волокно, 6 мкм; 2 – волокно, 5; 3 – NiCr, 50; 4 – NiCr, 202; 5 – NiCr, 519

Яркость $B(x, y, \lambda)$ в плоскости изделия, как известно, выражается

$$B(x, y, \lambda) = \frac{\Phi_{\Sigma}(x, y, \lambda)}{d\Omega dS(x, y) \cos \alpha}. \quad (8)$$

Яркость абсолютно черного тела $B_{\text{ачт}}(x, y, \lambda, T)$ по формуле Вина, как известно из работ [18–20], выражается

$$B_{\text{ачт}}(x, y, \lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}, \quad (9)$$

где C_1 – константа; $C_1 = 3,7418 \cdot 10^{20}$, Вт·нм·м⁻¹; C_2 – константа, $C_2 = 14,388 \cdot 10^6$, нм·К.

Коэффициент излучения $\varepsilon(\lambda, T)$ материала (нечерного тела) выражается как

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{B(x, y, \lambda, T)}{B_{\text{ачт}}(x, y, \lambda, T)}. \quad (10)$$

Для измерения температуры поверхности нагретого тела мы используем некоторый узкий диапазон яркостей изображения (измеряется в градациях яркости, *гр. я.*), который способен регистрировать приемник излучения (CCD- или CMOS-матрица), а также изменением частоты сканирования (время экспозиции) приемника излучения. Поэтому диапазон измеряемых значений температуры расширен и, что самое главное, не зависит от разрешающей способности оптической системы.

Как видно из формулы (10), температура T является равной при обеих яркостях с учетом коэффициента излучения $\varepsilon(\lambda, T)$.

В обоих случаях частота сканирования приемника излучения будет равна. Следовательно, на каждой из частот (интервале времени) можно проводить процедуру измерения без ущерба для результата.

На рис. 6 показаны результаты калибровки оптического устройства по температуре поверхностей

проволок различного сплава. В оптической системе использовался интерференционный светофильтр, который выделяет длину волны $\lambda = 532$ нм.

Калибровка проводилась на яркостях \bar{I} , $\bar{I} - \Delta$ и $\bar{I} + \Delta$, где Δ – некоторый допустимый диапазон яркости, *гр. я.*

При калибровке использовали:

- регулируемый лабораторный блок питания для электроконтактного нагрева участка проволоки;
- термометр Mastech MS6514 с термопарой К-типа для получения значений температуры поверхности проволоки.

На рис. 6, а, в из-за больших отклонений в яркости для нагретых проволок малого диаметра было решено привести результаты только для значения яркости $\bar{I}(T)$.

Как видно из рис. 6, результаты прокалиброванной температуры несколько расходятся. Это может указывать на нелинейную характеристику приемника излучения.

Кроме того, можно видеть, что результаты измеренной температуры с помощью термопары различны для разных диаметров проволок

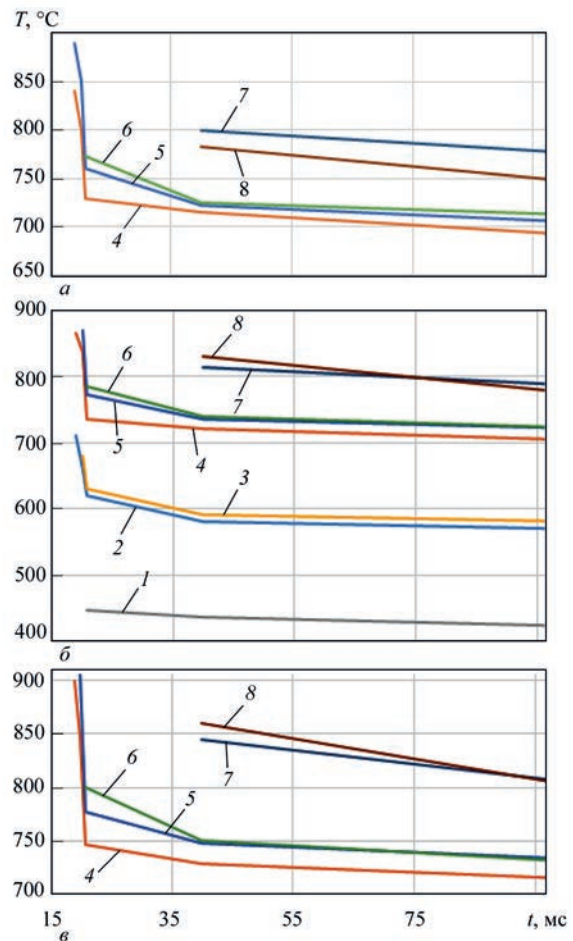


Рис. 6. Результаты калибровки оптического устройства по предлагаемому методу при: а – $\bar{I} - \Delta$; б – \bar{I} ; в – $\bar{I} + \Delta$ (1 – NiCr, 56 мкм; 2 – Al, 202; 3 – NiCr, 202; 4 – Al, 494; 5 – NiCr, 519; 6 – сталь, 518; 7 – Ni, 500; 8 – Ti, 487)

из одного сплава при одинаковой яркости $\bar{I}(T)$ (рис. 6, б). Однако визуальное наблюдение за состоянием изделия меньшего диаметра показало, что его температура не может быть меньше, чем температура изделия большего диаметра. В соответствии с этим, можно ввести поправочный коэффициент для коррекции результата, который учитывает геометрические параметры изделия.

Проведение измерений в динамическом режиме. При проведении контроля параметров нагретого изделия, которое движется продольно с некоторой скоростью v , возникает проблема связанная с получением четкого изображения оптическим устройством. Кроме того, возникает проблема измерения динамической температуры его поверхности. То есть, если даже скорость v движения изделия равна скорости сканирования приемника излучения, то мы все равно имеем проблему связанную с измерением температуры из-за квантовой природы электромагнитного излучения.

После формирования изображения нагретого изделия оптическим устройством, возникает вопрос, каким образом проводить измерение его температуры, ведь ранее мы установили, что температура может быть измерена в центральной точке (см. рис. 2).

Из методов обработки цифровых изображений мы имеем метод реконструкции смазанных изображений, который может быть применен в данном случае.

В общей форме уравнение искаженного, смазанного, изображения $I(x, y)$ имеет вид [21]

$$I(x, y) = h(x, y) * I_d(x, y) + \eta(x, y), \quad (11)$$

где h – искажающий оператор; $*$ – операция свертки; I_d – действительное изображение; η – функция шума.

При переходе к пространственной фильтрации, уравнение можно переписать как

$$\begin{aligned} I(x, y) - \eta(x, y) &= \\ &= \int_0^t I_d \left(x - \frac{t_{ин} l_x}{t}, y - \frac{t_{ин} l_y}{t} \right) dt, \quad (12) \\ &= \sum_{p=-a}^a \sum_{q=-b}^b h(p, q) I_d(x - p, y - q) \end{aligned}$$

где $t_{ин}$ – отрезок времени с общего времени экспозиции t ; l_x, l_y – общая длина пройденного пути за время экспозиции t ; p, q – координаты пространственного фильтра.

Если $t_{ин} = t$, то $x_{пр} = l_x = l_y$, а это означает, что в течение экспозиции на каждый из фотоэлектрических элементов накапливается определенное количество фотонов в четкой закономерности.

Проанализировав искажающую функцию, и используя результат анализа в виде пространствен-

ной фильтрации, можно получить более детальную информацию о поведении термодинамической температуры поверхности нагретого изделия.

Выводы

Приведены краткие сведения относительно высокотемпературных процессов для изготовления и обработки цилиндрических изделий.

Предложена математическая модель для измерения диаметра и температуры нагретого цилиндрического изделия с помощью оптического метода. Модель может быть использована для контроля энергетических и геометрических параметров такого изделия во время его высокотемпературного изготовления.

Приведены результаты калибровки оптического устройства по температуре предложенным методом измерения температуры, который заключается в изменении частоты сканирования приемника излучения. Прослеживается явное преимущество использования оптического устройства перед термометром с термопарой для измерений температуры поверхностей тонких нагретых объектов.

Предложен подход для измерения температуры нагретой поверхности изделия, которое движется с некоторой скоростью. Подход основан на использовании метода восстановления смазанного изображения из теории методов цифровой обработки изображений.

Список литературы

1. Лемешко Ю.А., Чугуй Ю.В. (2005) Дифракционный метод измерения диаметров круговых отражающих цилиндров. *Автоматрия*, 41, 6, 3–12.
2. Fedorov M.E. (2005) Optical laser diffraction transducer for measuring single-wire electric cable eccentricity. *IOP conference series: Materials and science and engineering*, 81, 012074. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/81/1/012074>
3. Khodier S.A. (2004) Measurement of wire diameter by optical diffraction. *Optics & laser technology*, 36, 63–67.
4. Порев В.А., Порев Г.В. (2014) Компенсация систематической погрешности измерения температуры поверхности зоны плавки. *Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова*, 2, 52–56.
5. Порев В.А. (2013) Контроль температурного режиму електронно-променевої безтигельної зонної плавки кремнію. *Методи та прилади контролю якості*, 1(30), 108–113.
6. Якименко Ю.І., Порев Г.В., Порев В.А. (2003) Вдосконалення методів і засобів вимірювання параметрів електронно-променевої безтигельної зонної плавки. *Там само*, 11, 71–77.
7. Порев В.А., Томашук А.С. (2017) Контроль параметрів нагретой проволоки в процессе волочения. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 4, 52–55. <https://doi.org/10.15407/tdnk2017.04.08>
8. He Y., Liu X., Qin F., Xie J. (2012) Rectifying control of wire diameter during dieless drawing by a deformation measuring method of interframe displacement. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 19(7), 615–621.
9. Supriadi S., Furushima T., Manabe K. (2013) Real-time monitoring system of dieless bellows forming using machine vision. *Advanced materials research*, 789, 429–435.
10. Mashiwa N., Furushima T., Manabe K. (2017) Novel non-contact evaluation of strain distribution using digital image correlation with laser speckle pattern of low carbon steel sheet. *Procedia Engineering*, 184, 16–21.

11. Milenin A., Kustra P., Du P. et al. (2018) Computer aided design of the laser dieless drawing process of tubes from magnesium alloy with take into account ductility of the material. *Procedia Manufacturing*, **15**, 302–310.
12. Jafari H. (2013) *Thermo-mechanical investigation of die-less wire drawing process*. University of British Columbia.
13. Tomashuk A., Sulima O., Porev V. (2018) Control of three main parameters of the wire in the four-dimensional printing process. *Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції магістрантів та аспірантів. Ч. 1*. Харків, ХПІ, сс. 140–141.
14. Тихонов А.С., Герасимов А.П., Прохорова И.И. (1981) *Применение эффекта памяти формы в современном машиностроении*. Москва, Машиностроение.
15. Ferreira M.A., Luersen M.A., Borges P.C. (2012) Nickel-titanium alloys: a systematic review. Dental press. *Journal of orthodontics*, **17(3)**, 71–82.
16. Tomashuk A. (2018) Device for monitoring the temperature and diameter of an extended cylindrical object in the high-temperature manufacturing process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **450**, 032018.
17. Ландсберг Г.С. (2003) *Оптика*. Москва, ФИЗМАТЛИТ.
18. Порев В.А. (2002) *Телевізійна пірометрія*. Київ, АВЕРС.
19. Порев В.А., Томашук О.С. (2015) Додаткові похибки вимірювання температури в телевізійній пірометрії. *Методи та прилади контролю якості*. Івано-Франківськ, НТУ НГ, **2(35)**, 12–16.
20. Gulyaev I.P., Dolmatov A.V. (2018) Spectral brightness pyrometry: Radiometric measurements of non-uniform temperature distributions. *International journal of heat and mass transfer*, **116**, 1016–1025.
21. Гонсалес Р.С., Вудс Р.С. (2012) *Цифровая обработка изображений*. Москва, Техносфера.
- of electron beam crucible-less zone melting. *Ibid.*, **11**, 71–77 [in Ukrainian].
7. Porev, V.A., Tomashuk, A.S. (2017) Control of parameters of heated wire in process of drawing. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **4**, 52–55. <https://doi.org/10.15407/tdnk2017.04.08>
8. He, Y., Liu, X., Qin, F., Xie, J. (2012) Rectifying control of wire diameter during dieless drawing by a deformation measuring method of interframe displacement. *Int. J. of Minerals, Metallurgy and Materials*, **19(7)**, 615–621.
9. Supriadi, S., Furushima, T., Manabe, K. (2013) Real-time monitoring system of dieless bellows forming using machine vision. *Advanced Materials Research*, **789**, 429–435.
10. Mashiwa, N., Furushima, T., Manabe, K. (2017) Novel non-contact evaluation of strain distribution using digital image correlation with laser speckle pattern of low carbon steel sheet. *Procedia Engineering*, **184**, 16–21.
11. Milenin A., Kustra P., Du, P. et al. (2018) Computer aided design of the laser dieless drawing process of tubes from magnesium alloy with take into account ductility of the material. *Procedia Manufacturing*, **15**, 302–310.
12. Jafari, H. (2013) *Thermo-mechanical investigation of die-less wire drawing process*. University of British Columbia.
13. Tomashuk, A., Sulima, O., Porev, V. (2018) Control of three main parameters of the wire in the four-dimensional printing process. *In: Proc. of 12th Int. Sci.-Pract. Conf. of Undergraduates and Postgraduates*. Pt 1. Kharkov, KhPI, 140-141.
14. Tikhonov, A.S., Gerasimov, A.P., Prokhorova, I.I. (1981) *Application of shape memory effect in modern mechanical engineering*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
15. Ferreira, M.A., Luersen, M.A., Borges, P.C. (2012) Nickel-titanium alloys: A systematic review. Dental press. *J. of Orthodontics*, **17(3)**, 71–82.
16. Tomashuk, A. (2018) Device for monitoring the temperature and diameter of an extended cylindrical object in the high-temperature manufacturing process. *IOP Conference Series: Materials Sci. and Engineering*, **450**, 032018.
17. Landsberg, G.S. (2003) *Optics*. Moscow, FIZMATLIT [in Russian].
18. Porev, V.A. (2002) *Television pyrometry*. Kyiv, AVERS [in Ukrainian].
19. Porev, V.A., Tomashuk, O.S. (2015) Additional errors of temperature measurement in television pyrometry. *In: Methods and equipment for quality control*. Ivano-Frankivsk, NTU NG, **2(35)**, 12-16 [in Ukrainian].
20. Gulyaev, I.P., Dolmatov, A.V. (2018) Spectral brightness pyrometry: Radiometric measurements of non-uniform temperature distributions. *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, **116**, 1016–1025.
21. Gonsales, R.S., Vuds, R.S. (2012) *Digital image processing*. Moscow, Tekhnosfera [in Russian].

References

ВИМІР ТЕМПЕРАТУРИ ТА ДІАМЕТРА ДІЛЯНКИ НАГРІТОГО ВИРОБУ

В.А. Порев, О.С. Томашук

НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». 03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37. E-mail: tomashuk.alexander@gmail.com

В процесі високотемпературного виготовлення або обробки циліндричного виробу необхідно отримувати інформацію щодо його енергетичних та геометричних параметрів. Для досягнення поставленої мети найбільш вдалим рішенням стане використання оптичних методів та методів цифрової обробки зображень. Оптичні методи, які засновані на законах геометричної оптики, заломлення, інтерференції та дифракції, дозволяють проводити вимірювання необхідних параметрів з високою точністю, що дозволяє удосконалювати якість виробу що виготовляється. В роботі описані математична модель та конструкція оптичного пристрою для проведення процедур вимірювань діаметра і температури з високою точністю. Методи дозволяють виробляти контроль діаметра та температури на розфокусованому зображенні. Результати розробки оптичного пристрою прив'язані до математичної моделі бесфільерного волочиння дроту, як одного з високотемпературних процесів. Результати калібрування пристрою за температурною шкалою показали деякі переваги використання запропонованого безконтактного методу над контактним – термометра з термопарою. Запропоновано підхід для вимірювання температури поверхні виробу, який рухається з деякою швидкістю, яка дорівнює швидкості формування зображення. Даний підхід заснований на методах цифрової обробки зображень. Бібліогр. 21, рис. 6.

Ключові слова: неруйнівний контроль, оптика, дифракція, температура, діаметр, ефект пам'яті форми, виробничий процес

MEASUREMENT OF TEMPERATURE AND DIAMETER OF A HEATED ITEM SECTION

V.A.Porev, A.S.Tomashuk

NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». 37 Peremohy Prosp., 03056, Kyiv, Ukraine.
E-mail: tomashuk.alexander@gmail.com

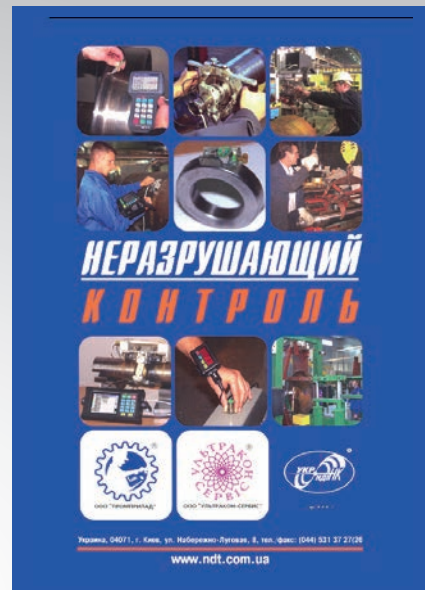
During high-temperature manufacture or treatment of a cylindrical item, it is necessary to obtain information about its energy and geometrical parameters. Application of optical and digital image processing methods will be the most successful solution to achieve the set goal. Optical methods, which are based on the laws of geometrical optics, refraction, interference and diffraction, allow measuring the required parameters with a high accuracy that enables improving the manufactured item quality. The paper describes the mathematical model and design of an optical device for conducting the procedures of measurement of the diameter and temperature with a high accuracy. These methods allow controlling the diameter and temperature on a defocused image. The results of development of the optical device are tied to the mathematical model of dieless drawing of wire, as one of the high-temperature processes. The results of device calibration by temperature showed some advantages of application of the proposed contactless method over the contact one – a thermometer with a thermocouple. An approach is proposed for measurement of surface temperature of an item, moving at a certain speed, which is equal to that of image forming speed. This approach is based on the methods of digital image processing. 21 Ref., 6 Fig.

Keywords: nondestructive testing, optics, diffraction, temperature, diameter, shape-memory effect, production process.

Поступила в редакцию
21.03.2019

КАТАЛОГ ПРОДУКЦИИ группы компаний ОКО

- Ультразвуковой дефектоскоп SONOCON B
- Ультразвуковой дефектоскоп УД 3-71
- Ультразвуковой дефектоскоп УД 4-76
- Ультразвуковой дефектоскоп железнодорожная версия УД4-94-ОКО-01
- Система USC TOFD 2.10 PRO
- Ультразвуковые толщиномеры ТУЗ-1, ТУЗ-2 и ТУЗ-5
- Ультразвуковой толщиномер UTG-8
- Преобразователи ультразвуковые к дефектоскопам и толщиномерам
- Ультразвуковые и вихретоковые стандартные образцы
- Вихретоковый аритмный дефектоскоп EDDYCON ВД3-81
- Вихретоковый дефектоскоп EDDYCON C
- Вихретоковый дефектоскоп EDDYCON D
- Вихретоковый дефектоскоп ВД3-71 НК-IVY
- Вихретоковый дефектоскоп ВД-131 НД специализированный
- Вихретоковые серийные преобразователи
- Магнитные дефектоскопы УМПК-2000, УниМаг-01, МД-4К, МД-4КМ
- Серия ультразвуковых дефектоскопов для контроля ж/д пути и сварных стыков рельс УДС2-73МР, УДС2-77, УД3-71
- Динамические твердомеры ТДМ-1 и ТДМ-2
- Установка измерения скорости распространения ультразвука УИСУ-01
- Серия установок магнитопорошкового контроля УМПК-1, 2, 3, 5
- Установка магнитопорошкового контроля муфт УМПК-4М, 8
- Установка мокрого магнитопорошкового контроля ж/д осей УМПК ОСЬ-38
- Стенд магнитопорошкового контроля крупногабаритных авиационных деталей УМПК-39
- Установка автоматизированная для комплексного неразрушающего контроля колесных пар вагонов ЧНК КП-8



- Установка ультразвуковой и вихретоковой дефектоскопии ж/д осей при выпуске из производства ЧНК «ОСЬ-3»
- Система автоматизированного ультразвукового иммерсионного контроля ж/д осей «УНИСКАН-Луч ОСЬ-4»
- Система автоматизированного ультразвукового контроля концов труб «САУЗК «УНИСКАН-Луч» КТ-7»
- Система автоматизированного неразрушающего контроля тела трубы Т-18 и Т-18ВТ
- Система автоматизированного иммерсионного ультразвукового контроля колес ж/д транспорта «УЗ-ЮГ»
- Система автоматизированного ультразвукового контроля продольных сварных швов труб САУЗК ПШ-11 ERW
- Орган по сертификации персонала в области НК технических объектов железнодорожного транспорта УкрНИИНК
- Аттестационный центр неразрушающего контроля на базе ООО «Промприлад»
- Учебный центр ООО «УЛЬТРАКОН-СЕРВИС»