

УДК 621.375

МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ

В.И. СЕМАШКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 27 октября 2004

Исследованы закономерности и механизмы лазерного поверхностного плавления. Лазерной обработке подвергались различные материалы, включая металлы, керамику и композиты. Показано, что лазерная обработка приводит к существенному морфологическому и структурному модифицированию поверхности. Рассмотрены перспективы применения лазерного поверхностного плавления для маркировки изделий.

Ключевые слова: лазер, поверхность, морфология, структура, плавление, маркировка.

Введение

Лазерная маркировка изделий и материалов является перспективным технологическим процессом, который имеет ряд преимуществ перед такими традиционными способами маркировки, как ударное клеймение, электрохимическое гравирование, нанесение надписей краской [1–3]. С помощью луча лазера можно маркировать любые твердые материалы, в частности, неэлектропроводные и прозрачные, в том числе, в труднодоступных местах, обеспечивая при этом высокую четкость формирования шрифтов и цифр различных размеров. Лазерная маркировка дает возможность наносить надписи без механической деформации маркируемого объекта. К числу достоинств этого метода относятся высокая степень автоматизации, экологическая чистота, высокая производительность. В лазерной маркировке не применяются какие-либо расходные материалы для получения изображения, что существенно снижает эксплуатационные расходы и обеспечивает быструю окупаемость затрат на приобретение оборудования.

Лазерная маркировка рекомендуется для изделий электронной техники: кремниевых пластин, микросхем, транзисторов, разъемов; для деталей машиностроения: подшипников, деталей автомобилей и самолетов, инструмента, а также для изготовления информационных табличек. Весьма интересной областью ее применения является маркировка металлических изделий без покрытия и специальной подготовки. При этом под воздействием лазера на чистом металле появляется контрастное изображение, которое можно удалить только механическим путем. Сам метод лазерной маркировки позволяет получить готовый продукт практически сразу, минуя многочисленные промежуточные стадии, необходимые для других методов.

Лазерная маркировка основана на эффекте изменения свойств (поверхностной структуры) материала [1, 2]. Обычно процесс маркирования сводится к испарению части материала с поверхности, в результате чего текстовые или графические изображения формируются в виде системы углублений (каналов). Однако имеется и другой эффективный способ маркировки, основанный на лазерном оплавлении поверхности материала (без его испарения). До сих пор этот метод не получил широкого распространения. Как правило, лазерное оплавление осуществляется с целью упрочнения поверхности. Между тем поверхностное плавление в условиях селек-

тивного лазерного воздействия позволяет существенно изменять как морфологию, так и структуру поверхности, обеспечивая ярко выраженный маркирующий эффект.

Ниже представлены некоторые результаты исследований по лазерному оплавлению [4–9], выполненных с участием автора, которые демонстрируют широкие возможности применения этого процесса в целях маркировки различных видов изделий и материалов, включая металлы, керамику и композиты на их основе.

Результаты и обсуждение

Характерной формой проявления эффекта морфологического модифицирования поверхности под действием лазера является формирование волнообразного рельефа, который имеет вид последовательности "замороженных" волн, распространяющихся вдоль обработанного лучом следа. Этот рельеф может формироваться на поверхности различных материалов при их обработке движущимся лучом как непрерывного, так и импульсно-периодического лазера. Возникновение рельефа является следствием сложных тепловых, гидродинамических и кристаллизационных процессов, которые протекают в ванне расплава и оказывают значительное влияние на структуру, состав и физические свойства поверхности после лазерной обработки.

На рис. 1 и 2 представлены типичные картины рельефа поверхности в случае обработки движущимся лучом (как для непрерывного, так и для импульсно-периодического излучения) различных материалов: рельеф представляет собой цепочку волн, которые следуют вдоль переплавленных дорожек в направлении, противоположном направлению движения луча.

Как видно из рисунков, волнообразный рельеф поверхности обеспечивает четкий контраст изображения, формируемого в следе лазерного воздействия как литых, так и порошковых материалов, включая порошковые покрытия, которые могут наноситься различными методами.

При обработке непрерывным излучением рельеф обычно имеет довольно однородный характер — в виде последовательности однотипных волн с приблизительно одинаковыми значениями геометрических параметров: длины L и высоты R волн рельефа, значения которых практически не зависят от скорости движения лазерного луча V . Причины образования такого рельефа связаны с особым, ритмическим механизмом кристаллизации тонкого слоя расплава на поверхности подложки.

Иная картина имеет место при обработке импульсно-периодическим излучением. Здесь наблюдается заметная зависимость длины волн рельефа L от скорости движения лазерного луча V и частоты повторения импульсов f в соответствии с формулой $L=V/f$, что связано с увеличением коэффициента взаимного перекрытия индивидуальных рельефов, формируемых одиночными импульсами, $k=(d-l)/d$, где d — диаметр лазерного пятна, l — расстояние между центрами соседних зон действия импульсов. Тем самым обеспечиваются возможности регулирования степени контраста маркирующих изображений, создаваемых за счет рельефа. Импульсы действуют независимо друг от друга, если к моменту действия очередного импульса выполняется одно из следующих условий: (1) ванна затвердевает полностью $[(T-\tau)\geq t_s]$, где $T-\tau$ — время паузы ($T=1/f$); (2) поверхность ванны затвердевает частично (от края) и затвердевшая часть поверхности остается непокрытой при наложении на данную ванну новой ванны, образованной очередным импульсом: $(T-\tau)<t_s$ и $k\geq[1+(d_0/d)]/2$, где d_0 — диаметр незатвердевшей части поверхности данной ванны.

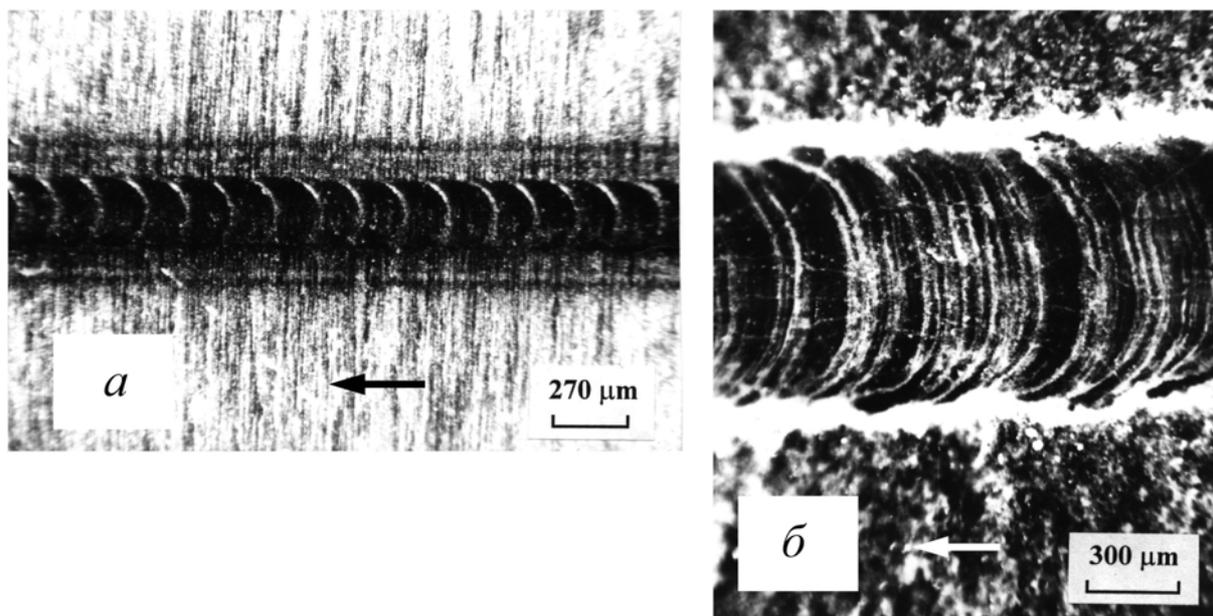


Рис. 1. Волнообразный рельеф на поверхности листовой стали (а) и покрытия из TiO_2 (б) после обработки непрерывным лазером: а — Nd:YAG лазер, б — CO_2 лазер. Направленные движения луча обозначено стрелкой

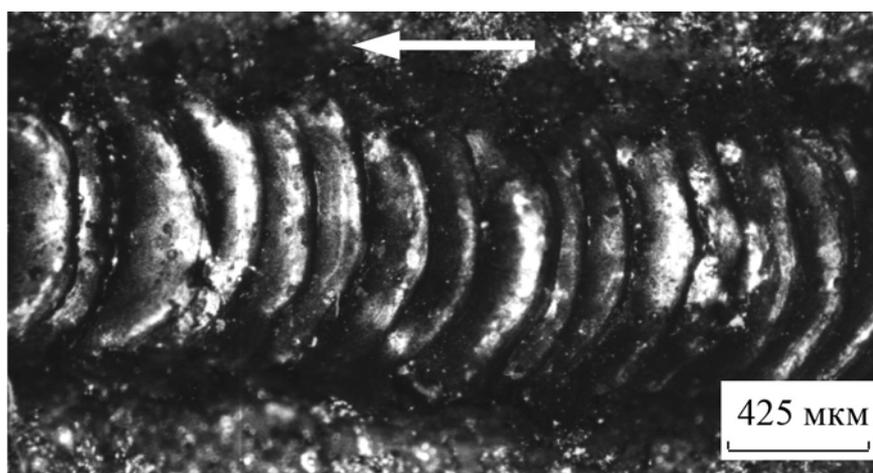


Рис. 2. Волнообразный рельеф на поверхности покрытия из $\text{NiCrFe-Cr}_3\text{C}_2$ после обработки импульсно-периодическим Nd:YAG лазером. Направление движения луча обозначено стрелкой

Эффект "замораживания" волн на поверхности расплава, образовавшихся во время действия лазерного импульса, может иметь место при условии $t_A > t_S$, где t_A — время затухания волн, t_S — время полного затвердения слоя расплава по толщине. Величина t_A находится как обратное значение коэффициента затухания капиллярных волн: $t_A = K^{-1}$. В свою очередь, K определяется по формуле

$$K = 2\omega^{4/3} \mu / \rho^{1/3} \sigma^{2/3}, \quad (1)$$

где ω — циклическая частота, μ — динамическая вязкость, ρ — плотность, σ — коэффициент поверхностного натяжения. Если считать, что кристаллизация расплава осуществляется в направлении от дна ванны к ее поверхности, то t_S может быть определено из выражения

$$t_S = H^2 \theta \rho / 2\gamma (T_S - T_0), \quad (2)$$

где H — толщина слоя расплава, θ — теплота кристаллизации, γ — коэффициент теплопроводности, T_S — температура кристаллизации расплава, T_0 — температура материала. Если же до-

пустить, что после окончания действия импульса поверхность расплава достаточно быстро охлаждается, то в этом случае кристаллизация начинается с поверхности и распространяется вглубь ванны. При этом для достижения эффекта "замораживания" волн достаточно, чтобы фронт кристаллизации продвинулся от поверхности расплава на расстояние, сравнимое с высотой поверхностных волн.

Особенно четкими являются изображения, создаваемые при лазерном оплавлении порошковых материалов. Это связано с тем, что такие материалы характеризуются ярко выраженной пористой структурой. При этом общей отличительной чертой их лазерной обработки является существенный модифицирующий эффект, связанный с уплотнением поверхностного слоя в результате его переплавки.

Характер развития процесса оплавления, а также структура и свойства модифицированной поверхности существенно зависят не только от параметров лазерной облучения, но и от состояния окружающей газовой среды. В частности, весьма эффективным оказывается лазерное оплавление металлических материалов в условиях их обработки на воздухе, и особенно в воздушном потоке, направленном в зону лазерного воздействия. Это связано с резкой интенсификацией экзотермических окислительных реакций, в результате чего при тех же энергетических параметрах облучения образуется гораздо более глубокая зона оплавления. Типичная картина поверхности, оплавленной лазером в воздушном потоке, показана на рис. 3.

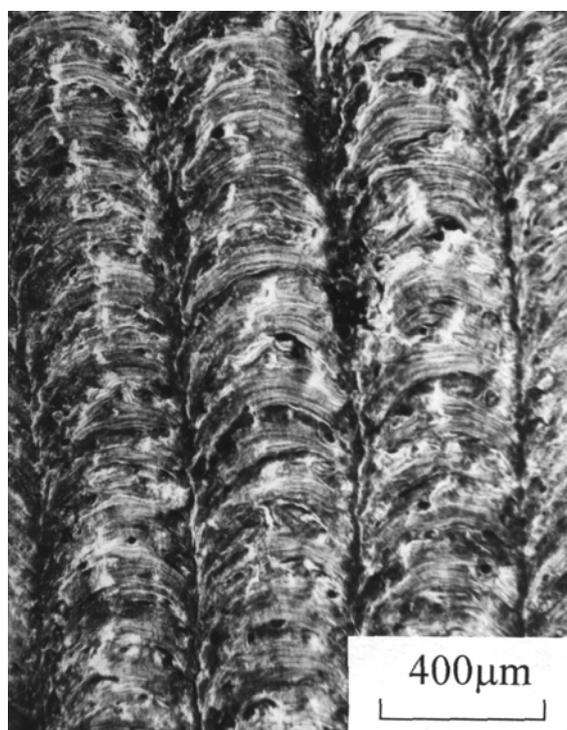


Рис. 3. Структура поверхности образца на основе железа, обработанного непрерывным CO_2 лазером в воздушном потоке

Заключение

Таким образом, селективное лазерное оплавление является перспективным методом маркировки изделий и материалов различных типов. Для его реализации могут успешно применяться базовые лазерные технологические установки. Вместе с тем для широкого практического освоения этого метода необходимо проведение дальнейших исследований, направленных на оптимизацию режимов лазерной обработки.

METHODS OF LASER MARKINGS

V.I. SEMASHKO

Abstract

The regularities and mechanisms of laser surface melting were investigated. Different materials including metals, ceramics and composites were subjected to laser treatment. It was shown that laser treatment results in significant morphological and structural modification of the surface. The prospects of laser surface melting application for the marking the parts were considered.

Литература

1. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. М., 1986.
2. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. М., 1988. 159 с.
3. Справочник по лазерной технике: Пер. с нем. М., 1991.
4. Толочко Н., Семашко В., Виллаге Б., и др. // Перспективные материалы. 2000. № 6. С. 42–49.
5. Толочко Н., Семашко В., Виллаге Б., и др. // Перспективные материалы. 2001. № 1. С. 49–57.
6. Толочко Н.К., Аршинов К.И., Семашко В.И., и др. // Материалы, технологии, инструменты. 2001. Т. 6, № 2. С. 60–63.
7. Толочко Н.К., Аршинов К.И., Семашко В.И., Ильющенко А.Ф. // Материалы, технологии, инструменты. 2001. Т. 6, № 3. С. 82–85.
8. Аршинов К.И., Семашко В.И., Степаненко В.А. // Proc. 6th Int. Conf. "Advanced Manufacturing Operations `01", 21–23 June 2001. Varna, Bulgaria, 2001. P. 19–23.
9. Tolochko N.K., Arshinov K.I., Semashko V.I., et al. // Polish Ceramic Bulletin, Ceramics. 2001. Vol. 65. P. 9–16.