

Проектирование технологий лазерной обработки материалов с применением дифракционной оптики

С.П. Мурзин^{1,2}, Н.Л. Казанский^{1,3}, Х. Штигльбруннер²

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

²Венский технический университет, Институт технологии производства и фотонных технологий, Гетрайдемаркт 9, Вена, Австрия, 1060

³Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

Аннотация

Использование дифракционной оптики для формирования излучения предоставляет возможность получить заданные свойства обрабатываемых материалов. При лазерной термообработке достигнуто улучшение параметров температурного поля в хромоникельмолибденовой стали. Реализован метод лазерного отжига листовых алюминий-магниевого и низколегированных титановых сплавов, для которых достигнуто увеличение максимального удлинения и уменьшение минимального радиусагиба. Показана возможность повышения эксплуатационных свойств композиционных материалов с интерметаллидным покрытием из терморезирующего никель-алюминиевого сплава в качестве подслоя. Применение сварки импульсным лазерным излучением с перераспределением плотности мощности позволяет повысить прочность сварного соединения жаростойкого и жаропрочного сплава на никелевой основе.

Ключевые слова

Обработка лазерная, излучение, формирование, оптика дифракционная, технология

1. Введение

Внедрение и целенаправленное использование выбранного метода лазерной обработки требует воздействия на заранее определенные области материала с требуемым и точно определенным распределением плотности мощности. Вместе с тем, практические решения с использованием различных оптических систем лишь в определенной степени удовлетворяют этому требованию, оставляя значительный диапазон возможностей лазерных технологий малоиспользуемым. В принципе, можно рассчитать любую поверхность оптического элемента, способную фокусировать лазерный луч необходимым образом. К сожалению, это не означает, что такую поверхность можно изготовить. Использование оптических элементов с поверхностью, отличной от расчетной, при лазерной обработке приводит к различного рода дефектам. В настоящее время эта проблема часто решается отказом от использования материалов, реагирующих с большей степенью чувствительности к тепловым изменениям. Используются не все преимущества лазерной обработки материалов, которая в данном случае может быть недостаточно эффективной. Вместо применения оптических элементов, не согласованных специально с задачей, более современный подход использует дифракционные оптические элементы (ДОЭ) для более точного управления распределением плотности мощности лазерного излучения [1-4].

2. Проектирование технологий лазерной обработки

В работе [5] на основе использования методов решения обратной задачи теплопроводности разработан алгоритм расчета распределения плотности мощности лазерного излучения для создания требуемого теплового воздействия на обрабатываемый материал. Показано

улучшение параметров температурного поля в хромоникельмолибденовой стали при лазерной термообработке. Использование ДОЭ для формирования излучения предоставило возможность получить заданные свойства конструкционного материала в зоне термического влияния.

Дифракционная оптика произвольной формы использовалась для фокусировки лазерного излучения при реализации метода отжига металлических листовых материалов [6]. Локальный рекристаллизационный лазерный отжиг участков пластической деформации обеспечил увеличение максимального удлинения и уменьшение минимального радиусагиба алюминий-магниевого сплава. В работе [7] описано применение данного метода для формирования рекристаллизованной структуры в низколегированных титановых сплавах.

В работе [8] показана возможность повышения эксплуатационных свойств лазерной обработкой композиционных материалов с интерметаллидным покрытием из терморезирующего никель-алюминиевого сплава в качестве подслоя. Лазерное воздействие с применением ДОЭ позволило дополнительно реализовать или завершить стадию развития объемного взаимодействия материала основы с материалом частиц подслоя. Для повышения прочности сцепления подслоя при их хорошей прирабатываемости покрытия рекомендовано перед напылением уплотнительного материала проводить лазерную обработку.

Дифракционная оптика применялась при сварке встык и внахлест пластин из жаростойкого и жаропрочного сплава на никелевой основе Ni–25% Cr–15% W–0.5% Ti [9]. Применение сварки импульсным лазерным излучением позволяет повысить прочность сварного соединения. Данная обработка рекомендована в качестве основы для построения соответствующего технологического процесса в промышленности.

3. Благодарности

Исследование поддержано Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 18-58-14001. Австрийский научный фонд (FWF): номер проекта I 3920.

4. Литература

- [1] Doskolovich, L.L. Design of DOEs for wavelength division and focusing / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer, P. Perlo, P. Repetto // *J Mod Opt.* – 2005. – Vol. 52(6). – P. 917-926. DOI: 10.1080/09500340512331313953.
- [2] Kazanskiy, N.L. Fabricating and testing diffractive optical elements focusing into a ring and into a twin-spot / N.L. Kazanskiy, G.V. Uspleniev, A.V. Volkov // *Proceedings of SPIE.* – 2001. – Vol. 4316. – P. 193-199. DOI: 10.1117/12.407678.
- [3] Kazanskiy, N.L. Research and education center of diffractive optics / N.L. Kazanskiy // *Proceedings of SPIE.* – 2012. – Vol. 8410. – P. 84100R-1. DOI: 10.1117/12.923233.
- [4] Казанский, Н.Л. Формирование требуемого энергетического воздействия при лазерной обработке материалов с применением фокусаторов излучения / Н.Л. Казанский, С.П. Мурзин, С.Ю. Клочков // *Компьютерная оптика.* – 2005. – № 28. – С. 89-93.
- [5] Murzin, S.P. Algorithm for calculation of the power density distribution of the laser beam to create a desired thermal effect on technological objects / S.P. Murzin, R. Bielak, G. Liedl // *Computer Optics.* – 2016. – Vol. 40(5). – P. 679-684. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-5-679-684.
- [6] Murzin, S.P. Local laser annealing for aluminium alloy parts / S.P. Murzin // *Lasers in Engineering.* – 2016. – Vol. 33(1-3). – P. 67-76.
- [7] Murzin, S.P. Softening of low-alloyed titanium billets with laser annealing / S.P. Murzin, N.L. Kazanskiy // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* – 2018. – Vol. 302(1). – P. 012070. DOI: 10.1088/1757-899X/302/1/012070.
- [8] Мурзин, С.П. Формирование структур материалов лазерным воздействием для повышения эксплуатационных свойств деталей в авиадвигателестроении / С.П. Мурзин // *Компьютерная оптика.* – 2016. – Т. 40, № 3. – С. 353-359. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-3-353-359.

- [9] Мурзин, С.П. Создание плотных бездефектных сварных соединений сплавов на никелевой основе импульсным лазерным воздействием / С.П. Мурзин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 6. – С. 181-185.