

Применение дифракционной оптики для формирования структур двухфазной стали с пониженной микротвердостью

С.П. Мурзин^{1,2}, А.А. Мельников¹, М.В. Блохин¹

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

Аннотация

Выполнено определение режимов лазерной обработки высокопрочной двухфазной стали, обеспечивающих формирование структур материала с пониженной микротвердостью. Для фокусировки излучения CO₂-лазерной установки применялся отражающий дифракционный оптический элемент. Снижение твердости образцов до значений 155...160 HV наблюдалось на расстоянии 0,1...1 мм от поверхности. Это объясняется разупрочнением материала образцов в результате процессов возврата и рекристаллизации. На большей глубине наблюдалось плавное повышение микротвердости до значения 170...180 HV.

Ключевые слова

формирование, структура, сталь, обработка лазерная, элемент дифракционный оптический

1. Введение

Известно, что такие важнейшие характеристики металлов и сплавов, как пластичность, твердость, прочность, ударная вязкость и т.д., являются структурно-чувствительными, т.е. в значительной степени определяются внутренней структурой материалов. Управление этими характеристиками может осуществляться путем изменения размера зерна, количества и положения дефектов кристаллической решетки, примесей и других структурных единиц, что требует соответствующего вида и локализации термической обработки. Наиболее универсальным инструментом для проведения такой обработки является лазерный луч, способный реализовать различные условия обработки, передавая точно определенное количество энергии в ограниченные или труднодоступные области, при этом избегая нежелательных воздействий и вибраций [1-3]. Большинство работ в этой области посвящено упрочнению металлов и сплавов [4-6]. Перспектива возможных структурных модификаций, таких как снижение твердости и повышение пластичности, исследована недостаточно.

2. Экспериментальные исследования

В настоящее время находят практическое применение двухфазные ферритно-мартенситные стали, структура которых может быть видоизменена, используя различные сочетания параметров лазерного нагрева и охлаждения. Основная задача состоит в реализации режимов лазерной обработки, обеспечивающих снижение твердости высокопрочной двухфазной стали. В этом случае лазерное излучение целесообразно фокусировать с созданием на поверхности обрабатываемого материала заданного перераспределения плотности мощности. Прогрессивно применение компьютерно-синтезированных дифракционных оптических элементов [7-9].

Выполнено определение режимов лазерной обработки высокопрочной двухфазной стали толщиной 1,5 мм, которые обеспечивают формирование структур материала с пониженной микротвердостью. Для фокусировки излучения CO₂-лазерной установки «BYSTAR 2512» в световое пятно размерами 9,75×1,25 мм² применялся отражающий дифракционный оптический

элемент. Мощность излучения составляла 450 Вт. Характер распределения плотности мощности излучения в фокальной плоскости дифракционного оптического элемента соответствовал представленному в работах [10, 11].

Исследование структуры и микротвердости шлифов, которые были изготовлены в поперечном сечении зоны термического влияния стали DP 1000, проводилось с применением растрового электронного микроскопа VEGA\ TESCAN. Использовался метод определения твердости по Виккерсу, основанный на исследовании зависимости глубины проникновения индентора - алмазного конуса в исследуемый материал от величины усилия. При этом небольшие линейные размеры отпечатка позволяют практически не нарушать поверхность исследуемых шлифов. В результате измерения микротвердости определено, что максимальное ее значение имело место вблизи поверхности и составляло 190...200 HV. Повышенная твердость наблюдалась в приповерхностной зоне глубиной ~0,1 мм, а в более глубоких слоях ее значение уменьшалось. При этом снижение твердости образцов до значений 155...160 HV наблюдалось до расстояния 0,9...1 мм от поверхности. На большей глубине наблюдалось плавное повышение микротвердости до значения 170...180 HV. Происходит разупрочнение материала в результате процессов возврата и рекристаллизации.

3. Благодарности

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

4. Литература

- [1] Dowden, J. The theory of laser materials processing: Heat and mass transfer in modern technology / J. Dowden, W. Schulz. – Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2017. – 432 p.
- [2] Lawrence, J.R. Advances in laser materials processing: technology, research and applications / J.R. Lawrence. – Oxford, UK: Woodhead Publishing, 2017. – 802 p.
- [3] Kannatey-Asibu, E. Jr. Principles of laser materials processing / E. Kannatey-Asibu Jr. – Hoboken, New Jersey, US: John Wiley & Sons, 2009. – 820 p.
- [4] Steen, W.M. Laser material processing / W.M. Steen, J. Mazumder. – London, UK: Springer, 2010. – 558 p.
- [5] Dahotre, N.B. Laser fabrication and machining of materials / N.B. Dahotre, S.P. Harimkar. – New York, US: Springer Science + Business Media, 2008. – 558 p.
- [6] Babu, P.D. Laser surface hardening: A review / P.D. Babu, K.R. Balasubramanian, G. Buvanashakaran // Int J Surf Sci Eng. – 2011. – Vol. 5(2-3). P. 131-151. DOI: 10.1504/IJSURFSE.2011.041398.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Мурзин, С.П. Селективная модификация двухфазной стали DP 1000 лазерным воздействием с применением дифракционного оптического элемента / С.П. Мурзин, М.В. Блохин // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 5. – С. 773-779. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-5-773-779.
- [11] Murzin, S. Calculation of thermal processes during laser treatment of dual phase steel using computer-generated diffractive optical element / S. Murzin, A. Tisarev, M. Blokhin // 6th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology – 2020. – P. 9253363. DOI: 10.1109/ITNT49337.2020.9253363.