

ЛАЗЕРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ВОЛН ЛЭМБА В ФЕРРОМАГНИТНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЕ*

Ю.В. Петров, С.Ю. Гуревич

Экспериментально исследован процесс лазерной генерации импульсов волн Лэмба в ферромагнетике за счет испарительного механизма. Полученные результаты могут быть рекомендованы при разработке методов и средств контроля тонкостенных металлических изделий.

Ключевые слова: ферромагнетик, лазерное возбуждение, волны Лэмба.

Введение

Генерация ультразвуковых волн в металлах с помощью лазерных импульсов наносекундной длительности имеет ряд существенных преимуществ перед традиционными способами. Во-первых, отпадает необходимость в пьезопреобразователях и контактных средах, так как источником ультразвука в этом случае является освещаемая поверхность самого изделия. Размеры и форма такого термоакустического источника могут легко регулироваться с помощью линз, а сам лазер может быть удален от объекта исследования на достаточно большое расстояние. Во-вторых, длительность акустических импульсов, которые генерируются лучом лазера в металле, измеряется десятками долями микросекунд, то есть спектр частот возбуждаемых колебаний значительно шире, чем в случае возбуждения ультразвука с помощью резонансных ПП. Это обстоятельство дает возможность увеличить объем информации о физико-механических свойствах исследуемого объекта, его микроструктуре, форме, природе выявляемых в нем дефектов, уменьшить «мертвую» зону и т.п.

Перечисленные достоинства лазерной генерации в полной мере относятся и к случаю возбуждения ультразвуковых волн в тонкостенных металлических изделиях (волн Лэмба). Однако для внедрения предлагаемого способа в практику ультразвукового контроля таких изделий, необходимо знать структуру возбуждаемого акустического поля в тонких металлических пластинах, зависимости основных характеристик волн Лэмба (тип, частота, амплитуда, скорость и т.д.) от геометрических и энергетических параметров лазерного излучения.

Эксперимент

Для экспериментальных исследований была собрана опытная установка, схема которой показана на рис. 1. Импульсный YAG: Nd³⁺-лазер ЛТИ-403, работающий в режиме активной модуляции добротности, излучает световые импульсы длительностью 30 нс с частотой следования 12,5 Гц. Длина волны лазерного излучения составляет 1,06 мкм, максимальная энергия импульса 400 мДж. Мощность лазерного излучения контролируется прибором ИМО-2Н. Для изменения направления распространения лазерного луча служит поворотное полупрозрачное зеркало, диаметр лазерного пятна может регулироваться с помощью оптической линзы в пределах 0,5–5,0 мм. Лазерный луч, сфокусированный оптической линзой до диаметра 0,7 мм, направлялся на поверхность металлической ферромагнитной пластины. Средняя поверхностная плотность тепловой мощности лазерного излучения устанавливалась равной 180 МВт/см², что соответствует испарительному механизму лазерной генерации ультразвука. Выбранные значения диаметра светового пятна и интенсивности лазерного излучения обеспечивали при минимальных размерах зоны генерации достаточную для проведения исследований амплитуду импульсов ультразвуковых волн Лэмба.

Под действием излучения металл в зоне лазерного пятна нагревается и становится источником сдвиговых и нормальных упругих возмущений [1, 2]. В металлической пластине возмущения

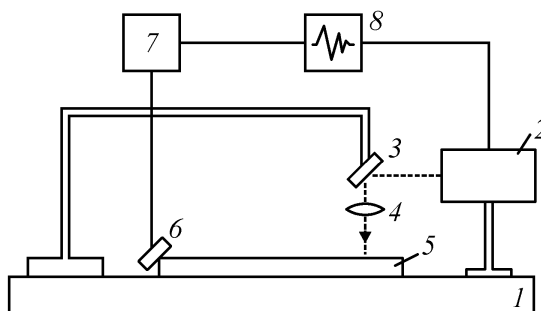


Рис. 1. Схема установки: 1 – оптическая скамья, 2 – лазер, 3 – полупрозрачное зеркало, 4 – линза, 5 – пластина, 6 – пьезоискатель, 7 – усилитель, 8 – осциллограф

распространяются в виде симметричных (S_0 , S_1 , S_2 , и т.д.) и антисимметричных (A_0 , A_1 , A_2 , и т.д.) ультразвуковых волн Лэмба [3]. Фазовые и групповые скорости распространения волн разные и зависят от упругих постоянных материала пластины, её толщины h и частоты ν колебаний.

Для регистрации ультразвуковых волн Лэмба существует несколько методов [3]. В данной работе прием возбуждаемых волн осуществлялся прямым пьезоискателем, опирающимся своей рабочей поверхностью на ребро прямоугольного торца ферромагнитной пластинки. Причем для достижения наилучшего приема рабочая плоскость пьезоискателя устанавливается под углом 45° к граням пластинки. Следует заметить, что выбранный метод легко реализуется на практике, обладает наглядностью - регистрируется вся совокупность импульсов волн Лэмба, возбуждаемых в пластине, обеспечивается достаточная точность проводимых измерений.

От места возбуждения волны, распространяясь в пластине, достигают приемника, преобразуются в электрические колебания и через усилитель поступают на вход осциллографа. Поскольку групповые скорости волн разные, то на экране осциллографа каждой моде симметричной и антисимметричной волны Лэмба соответствует отдельный импульс. Количество этих импульсов, их степень разрешения друг от друга во времени и амплитуда будут определяться пройденным волнами расстоянием от места возбуждения до места приёма, их энергией и затуханием в материале пластины.

Для определения групповой скорости волн Лэмба по масштабной сетке экрана осциллографа проводились измерения времени распространения волн при различных расстояниях между лазерным пятном и приемником. Перемещение пятна контролировалось по миллиметровой шкале оптической скамьи. Для волн Лэмба одного типа и конкретной моды экспериментальные точки должны с точностью до погрешности измерения располагаться на одной линии. Средняя групповая скорость рассчитывалась как величина обратная угловому коэффициенту полученного графика.

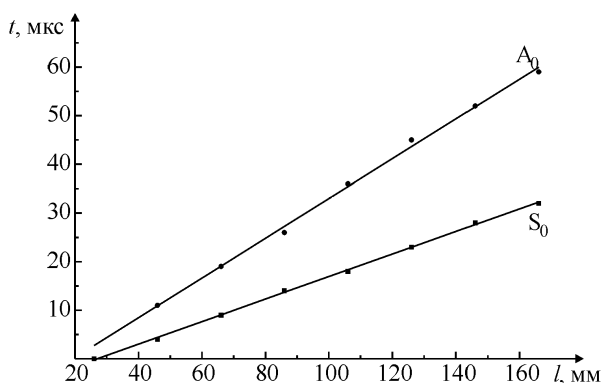


Рис. 2

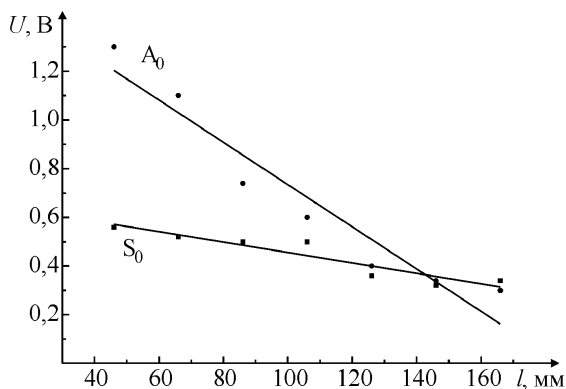


Рис. 3

Объектами исследования были шлифованные прямоугольные ферромагнитные пластины размерами 270×60 мм и толщинами h : 0,60; 1,25; 2,00; 2,70 мм. Приемниками волн Лэмба являлись штатные прямые пьезоискатели с резонансными частотами 0,60; 1,25; 2,50; 5,00; 10,00 МГц.

В качестве примера на рис. 2 представлен график упомянутой выше зависимости для металлической пластинки толщиной $h = 0,60$ мм и частоты пьезоискателя $\nu = 0,60$ МГц. Видно, что в пластинке распространяются две волны Лэмба с разными скоростями. На рис. 3 для этого же случая приведен график зависимости амплитуд электрических импульсов, пропорциональных упругим, от расстояния между лазерным пятном и приемником.

Для определения типа и номера возбуждаемых ультразвуковых волн Лэмба экспериментальные значения скоростей наносились на дисперсионные кривые низших номеров волн Лэмба (рис. 4). Эти кривые для исследуемых ферромагнитных пластин были рассчитаны авторами в работе [4].

Выводы

1. Предложен и реализован метод приема ультразвуковых волн Лэмба, отличающийся тем, что позволяет наблюдать на экране осциллографа одновременно всю совокупность импульсов волн Лэмба, возбуждаемых в пластине.

2. В режиме испарительно-го механизма лазерной генерации ультразвука возникают, в основном, нулевые симметричные S_0 , антисимметричные A_0 волны Лэмба и волны поверхностные.

3. Из анализа значений полученных скоростей следует, что источниками S_0 -волн в пластине являются нормальные, а A_0 -волн и поверхностных - поперечные составляющие упругих возмущений от нагретого объема металла. Изменяя с помощью размеров лазерного пятна амплитуду этих составляющих, в пластине можно возбуждать преимущественно симметричные или антисимметричные волны Лэмба.

4. Диапазон возбуждаемых ультразвуковых колебаний в пластинах достаточной амплитуды ограничивается частотами от 0,6 до 4 МГц. При увеличении частоты до 10 МГц наблюдается их сильное затухание. Зависимость амплитуды волн Лэмба от параметра $h\nu$ является неоднозначной.

Литература

1. Петров, Ю.В. Экспериментальные исследования поперечных волн, возбуждаемых в металле лазерным импульсом / Ю.В. Петров, А.В. Шушарин // Дефектоскопия. - 2000. - № 9. - С. 87-94.
2. Петров, Ю.В. Экспериментальные исследования продольных волн, возбуждаемых в металле лазерным импульсом / Ю.В. Петров, А.В. Шушарин // Дефектоскопия. - 2000. - № 12. - С. 80-86.
3. Викторов, И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Релея и Лэмба в технике / И.А. Викторов. - М.: Наука, 1966. - 168 с.
4. Гуревич, С.Ю. Экспериментальные исследования лазерной генерации нормальных акустических волн в ферромагнитных металлах при температуре Кюри / С.Ю. Гуревич, Ю.В. Петров, А.А. Шульгинов, Е.В. Голубев // Дефектоскопия. - 2007. - № 2. - С. 9-15.

Поступила в редакцию 22 июня 2009 г.

LASER GENERATION OF LAMB WAVES IN A FERROMAGNETIC METAL PLATE

The process of laser generation of Lamb waves in a ferromagnet at the expense of flash effect was studied experimentally. The obtained results can be recommended for use in the development of methods and equipment for testing thin-walled metal articles.

Keywords: ferromagnet, laser generation, ultrasonic Lamb waves.

Petrov Yuriy Vladimirovich - Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor, General and Experimental Physics Department, South Ural State University.

Петров Юрий Владимирович - кандидат технических наук, доцент, кафедра «Общая и экспериментальная физика», Южно-Уральский государственный университет.

Gurevich Sergei Yurevich - Doctor of engineering science, professor, General and Experimental Physics Department, South Ural State University.

Гуревич Сергей Юрьевич - доктор технических наук, профессор, кафедра «Общая и экспериментальная физика», Южно-Уральский государственный университет.

e-mail: sergur@susu.ac.ru

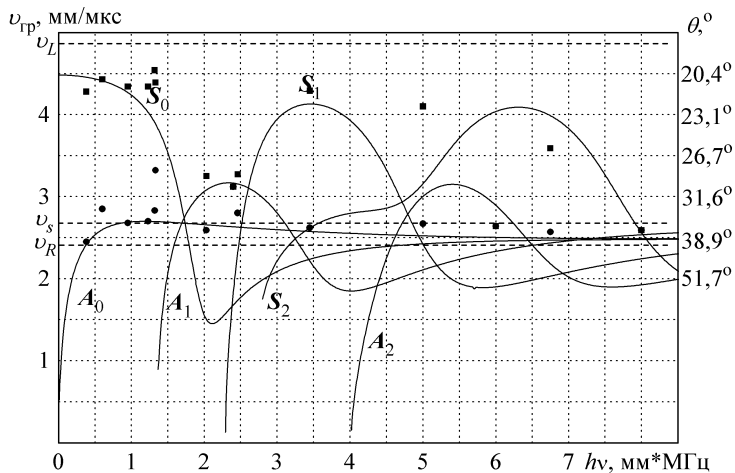


Рис. 4