

ПАРАМЕТРЫ ИМПУЛЬСОВ РЭЛЕЕВСКИХ ВОЛН, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ЛАЗЕРНЫМ ИМПУЛЬСОМ В ФЕРРОМАГНИТНОМ МЕТАЛЛЕ¹

С.Ю. Гуревич, Ю.В. Петров, Е.В. Голубев

Проведены эксперименты по определению параметров ультразвуковых импульсов, возбуждаемых лазерным излучением в железоникелевом сплаве инварного состава 32НКД. Зафиксирован нелинейный рост амплитуды акустических импульсов при увеличении энергии возбуждающих оптических импульсов и различное относительное изменение амплитуды с температурой при различных значениях энергии оптических импульсов, что качественно согласуется с данными расчета, основанными на реальной температурной зависимости коэффициента теплового расширения образца.

Экспериментальные исследования проводились на установке, схема и характеристики которой подробно описаны в работе [1]. Образец представлял собой шлифованную пластину толщиной 10 мм, изготовленную из ковальной заготовки железоникелевого сплава инварного состава 32НКД (32,8 мас. % Ni по химическому анализу). Выбор инвара, как среды моделирующей поведение ферромагнетиков при нагревании, обусловлен относительно невысоким значением температуры Кюри (220 °С). Быстрый рост коэффициента теплового расширения от минимального значения при комнатной температуре до почти постоянного значения при высоких температурах (больших 300 °С) позволяет наблюдать на одном образце акустические импульсы, соответствующие как большой нелинейности, так и случаю пренебрежимо малого изменения данного коэффициента в процессе лазерного возбуждения.

Первый этап исследований заключается в установлении характеристик акустических импульсов в зависимости от плотности энергии падающего излучения. Температура в зоне облучения, в первом приближении, пропорциональна энергии падающего излучения [2]. Согласно [3], максимальная плотность теплового потока, при которой еще реализуется термоупругий механизм возбуждения акустических волн, для данного материала составляет 10 МВт/см². В настоящих исследованиях мы ограничивались этим значением теплового потока первичного излучения для возможности сравнения опытных данных и результатов расчета. На рис. 1 приведена типичная зависимость амплитуды (размах) акустических сигналов (КПВП) от средней плотности падающего теплового потока для диаметра лазерного пучка равного 1 мм. Каждая точка на рисунках является средним значением амплитуды для 40-60 импульсов. Отклонение значений амплитуды

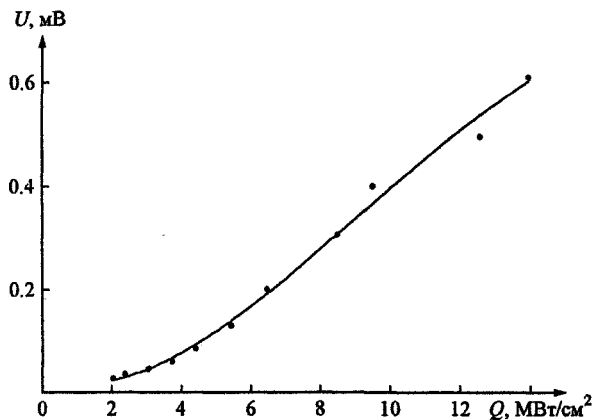


Рис. 1

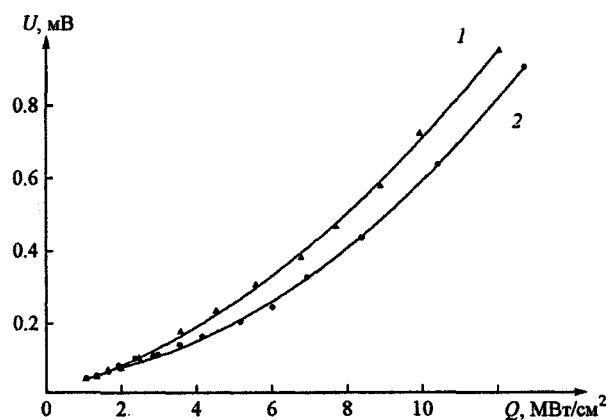


Рис. 2

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ-Урал, проект № 04-02-96043-р2004урал_а.

импульсов от среднего значения не превышало $\pm(7-10)\%$ и было обусловлено, в первую очередь, нестабильностью лазерного излучения по энергии. Аналогичные зависимости для диаметров лазерного пучка 1,5 и 2 мм представлены на рис. 2 кривыми 1 и 2. Согласно рис. 1 и 2, зависимость амплитуды импульса от интенсивности лазерного излучения имеет нелинейный характер, что подтверждается данными расчета [4].

Второй этап экспериментальных исследований заключался в определении зависимости характеристик сигналов от температуры ферромагнитного образца. Согласно результатам расчета, меньшее значение энергии падающего на поверхность образца оптического импульса при увеличении температуры образца из сплава 32НҚД соответствует большему относительному изменению амплитуды акустического импульса. Для проверки данного утверждения был проведен ряд экспериментов с диаметром лазерного пучка 1,5 мм, в которых поверхность образца была обработана одинаковым образом для обеспечения независимости результатов экспериментов.

На рис. 3 и 4 приведены температурные зависимости амплитуды электрических импульсов, полученные при различных интенсивностях падающего излучения. На рис. 3 для температуры 505 К показаны доверительные интервалы, в пределы которых попадает 95% значений нормированной амплитуды импульсов, пропорциональных нормальной составляющей скорости упругих смещений. Аналогичные интервалы приведены и на рис. 4 для температуры 545 К. При увеличении величины средней плотности падающего теплового потока от 1,2 до 12 МВт/см² наблюдается устойчивое уменьшение максимального относительного изменения амплитуды от 4,5 до 1, что качественно согласуется с выводами теории. Значение падающего теплового потока 12 МВт/см² соответствует границе теплового механизма для исследуемого образца при используемом способе обработки поверхности.

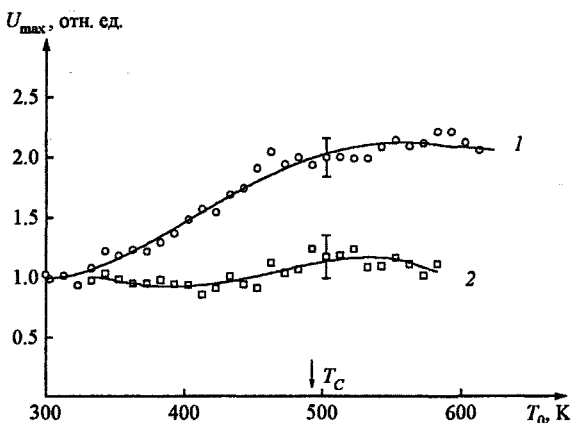


Рис. 3
1 – 6; 2 – 12 МВт/см². ЭМАП. $d = 1,5$ мм

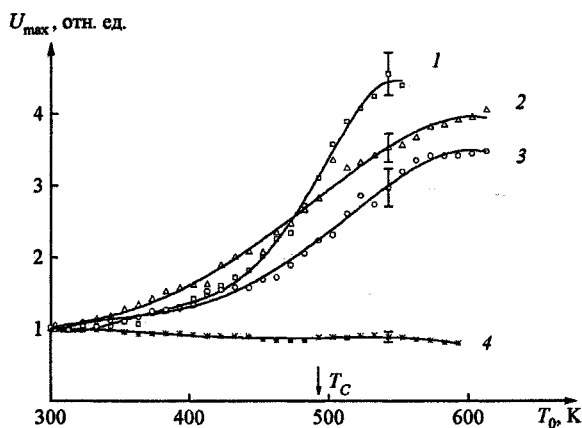


Рис. 4
1 – 1,2; 2 – 2,1; 3 – 2,5; 4 – 50 МВт/см². КПВТП. $d = 1,5$ мм

Литература

1. Гуревич С.Ю., Петров Ю.В., Голубев Е.В. Экспериментальные исследования по лазерной генерации поверхностных акустических волн в ферромагнетиках // Дефектоскопия. - 2004. - №2. - С. 47-52.
2. Александров А.Н., Голубев Е.В. Нагрев бесконечной металлической пластины импульсным лазерным излучением // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика, физика, химия». - 2005. - Вып. 5. - № 2 (42). - С. 80-85.
3. О границах механизмов термоакустического преобразования при лазерной генерации ультразвука в металлах / С.Ю. Гуревич, Ю.В. Петров, А.А. Шульгинов, К.В. Прокопьев // Дефектоскопия. - 2001. - № 4. - С. 69-75.
4. Гуревич С.Ю., Голубев Е.В. Лазерное возбуждение поверхностных акустических волн в ферромагнетике при тепловом механизме // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика, физика, химия». - 2003. - Вып. 4. - № 8 (24). - С. 54-59.

Поступила в редакцию 10 декабря 2006 г.