

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ЛАЗЕРНЫМ ИМПУЛЬСОМ В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ МАГНИТНОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

С.Ю. Гуревич, Ю.В. Петров, Е.В. Голубев, К.Б. Хабиров

Проведено экспериментальное исследование зависимости параметров акустического поля поверхностных волн при лазерном возбуждении от температуры в ферромагнитном сплаве 32НКД (инвар). Магнитный фазовый переход в ферромагнетике приводит к увеличению амплитуды импульса ПАВ и изменению в спектре. Также зафиксирован рост скорости распространения волн Рэлея с температурой.

I. Введение

Возбуждение ультразвука в ферромагнитном металле короткими лазерными импульсами сопровождается локальным повышением его температуры. Если в ферромагнетике происходит магнитный фазовый переход (точка Кюри), то это может существенно повлиять на некоторые физические параметры металла.

Как было показано в работах [1, 2], изменение свойств ферромагнетиков при магнитном фазовом переходе существенно влияет на амплитуду, спектр и длительность импульсов возбуждаемых объемных акустических волн. В данной работе исследуется влияние магнитного фазового перехода на параметры высокотемпературного преобразования импульсного лазерного излучения в акустическое поле поверхностных волн (ПАВ).

II. Эксперимент

Для решения поставленной задачи была использована экспериментальная установка, состоящая из NdYAG лазера ЛТИ-403 (1), оптического аттенюатора (2), измерителя оптической мощности (3), набора диафрагм с отверстиями от 0,5 до 4 мм (4), фокусирующей линзы (5), исследуемого образца из ферромагнитного материала (6), измерителя температуры (7), нагревателя (8), приемника ПАВ (9), широкополосных усилителя регистрируемых сигналов (10) и осциллографа (11), видеокамеры (12) (рис. 1).

Лазер, работающий в режиме активной модуляции добротности, излучает световой импульс длительностью 20–30 нс с частотой следования 12,5–100 Гц. Длина волны излучения составляет 1,06 мкм, максимальная энергия импульса 0,3 Дж. Исследуемый образец, моделирующий свойства ферромагнетиков при их нагревании, представляет собой прямоугольную пластину 270×60×10 мм, изготовленную из ковanej заготовки железоникелевого сплава 32НКД инварного состава. Температура Кюри, при которой происходит магнитный фазовый переход у такого сплава, относительно невелика и составляет 210 °С. В эксперименте использовался электронагреватель мощностью 300 Вт. Температура измерялась с помощью стандартной хромель-алюмелевой термопары и прибора Digi-Temper, model 3527 TDS-RUGA с цифровой индикацией.

Для исследования влияния магнитного фазового перехода на процесс возбуждения ПАВ, необходимо, чтобы температура ферромагнетика, обусловленная

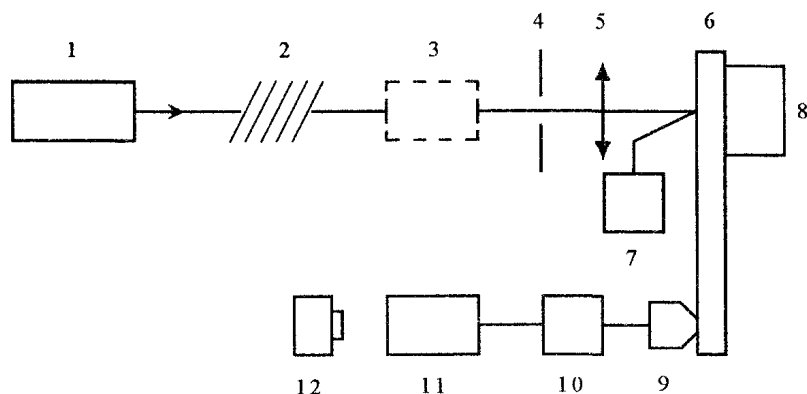


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

энергией лазерного излучения, не превышала температуру Кюри. Это возможно только в том случае, если возбуждение ПАВ происходит за счет термоупругого эффекта. С целью нахождения пороговых значений энергии лазерного излучения, определяющих действие термоупругого механизма генерации ПАВ, был проведен ряд экспериментов.

Исследования проводились по методике, изложенной в работе [3]. В качестве приемника ПАВ использовался усовершенствованный ЭМАП поверхностных волн [4]. Применение НЖБ-магнитов и более совершенной схемы предусилителя, позволили значительно увеличить чувствительность такого преобразователя. Располагался ЭМАП на освещаемой поверхности образца на расстоянии 180 мм от места возбуждения ПАВ. Оптическим аттенуатором и измерителем мощности задавались и измерялись значения средней мощности лазерного излучения в достаточно широком диапазоне. Размер лазерного пятна и равномерность его освещения осуществлялись с помощью диафрагм и линзы. Регистрируемые на экране осциллографа электрические импульсы, пропорциональные импульсам скорости упругих смещений в ПАВ, снимались на видеокамеру, вводились в компьютер и обрабатывались.

На рис. 2 приведены результаты исследований для лазерного пятна диаметром 2 мм. Абсцисса точки пересечения касательных к начальному и наиболее крутому участкам кривой зависимости амплитуды электрического импульса на выходе приемного тракта U от натурального логарифма средней поверхностной плотности мощности лазерного излучения $\langle q \rangle$, определяет конец действия термоупругого и начало вступления гидродинамического механизмов генерации ПАВ. Подобным образом можно установить и начало действия испарительного механизма.

При исследовании температурной зависимости параметров импульсов смещений в ПАВ лазерный луч через диафрагму проецируется на поверхность образца, с противоположной стороны которого находится плоский электронагреватель. Вблизи места возбуждения ПАВ закреплялась термopара. В качестве приемников ПАВ использовались клиновидный поверхностно-возбуждаемый толстый пьезопреобразователь (ПВТП) и ЭМАП поверхностных волн.

Выбор клиновидного ПВТП обусловлен тем, что при своей широкополосности он обеспечивает регистрацию ПАВ, возбуждаемых при минимально возможной мощности лазерного излучения – 0,014 Вт. Конструкция такого приемника аналогична конструкции прямого ПВТП, описанного в работе [4]. Недостатками этого приемника является необходимость переходной среды, относительно большая площадь контакта с поверхностью образца, а также наличие переотраженных волн в клине. Все это приводит к незначительным искажениям импульса смещения ПАВ. ЭМАП поверхностных волн, хотя и обладает меньшей, по сравнению с клиновидным ПВТП, чувствительностью, однако имеет ряд существенных преимуществ, основные из которых – отсутствие контактной среды и локальность зоны приема (диаметр высокочастотного индуктора в виде прямого проводника длиной 10 мм равен 0,5 мм). Импульсы скоростей смещений в ПАВ, в этом случае, регистрируются без искажений.

По мере нагревания образца от комнатной температуры до температуры несколько выше точки Кюри, осциллограммы регистрируемых импульсов смещений ПАВ снимались на видеокамеру, затем вводились в компьютер и обрабатывались. На рис. 3–5 приведены результаты эксперимента для случая приема ПАВ клиновидным ПВТП и лазерного пятна диаметром 1,5 мм.

III. Результаты и выводы

1. На основании экспериментальных исследований предложена методика определения границ механизмов термооптического возбуждения ПАВ в металлах. В частности, найдено, что действие термоупругого механизма в инваре ограничивается средней поверхностной плотностью тепловой мощности $\langle q \rangle = 10$ Мвт/см² (рис. 2).

2. Обнаружено существенное влияние магнитного фазового перехода на амплитуду смещений в ПАВ в случае их возбуждения за счет термоупругого механизма. При значении $\langle q \rangle = 1,2$ Мвт/см² амплитуда линейно растет с температурой примерно до 150°, после чего начинается ее резкий рост и в области температуры Кюри она достигает максимума (рис. 3 график 1). График 2 соответствует значению $\langle q \rangle = 50$ Мвт/см². В этом случае реализуется гидродинамический и испарительный механизмы возбуждения и амплитуда упругих смещений с ростом температуры ферромагнетика остается практически без изменений.

3. Влияние магнитного фазового перехода на процесс возбуждения ПАВ подтверждается и изменением формы и спектра импульсов ПАВ. Из рис. 4 видно, что в области температуры Кюри

максимум спектра смещается в область более низких частот. Кроме того, с увеличением температуры ферромагнетика происходит смещение максимума импульса примерно на 1,5 мкс к началу развертки, что соответствует увеличению скорости ПАВ. Аналогичные исследования были проведены и с ЭМАП поверхностных волн.

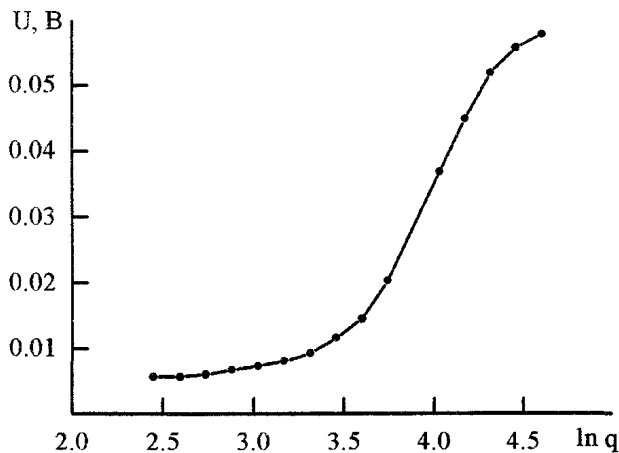


Рис. 2. Зависимость амплитуды импульса скоростей упругих смещений в ПАВ от логарифма средней интенсивности светового потока

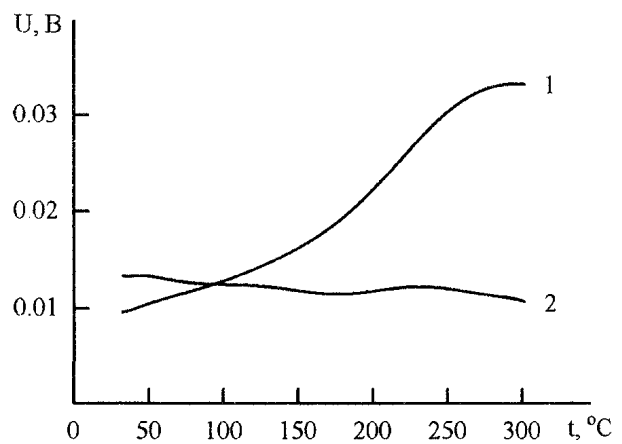


Рис. 3. Зависимость амплитуды импульса ПАВ от температуры: 1 – $\langle q \rangle = 1.2$; 2 – $\langle q \rangle = 50 \text{ МВт/см}^2$

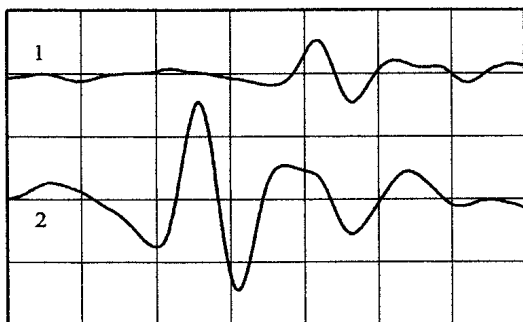


Рис. 4. Форма импульсов смещений в ПАВ: 1 – 27 °С; 2 – 275 °С. Масштаб по горизонтали 1 мкс/см, по вертикали 0,01 В/см

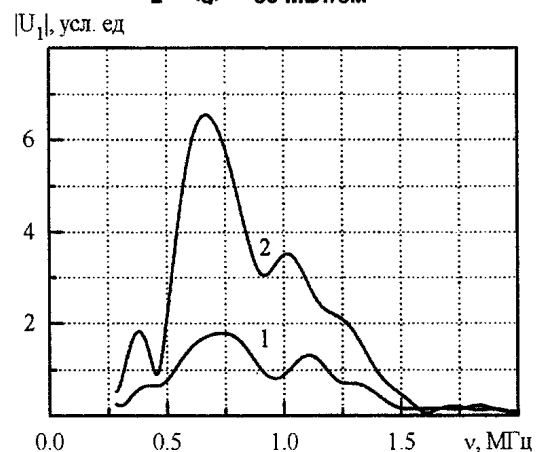


Рис. 5. Спектр импульсов смещений ПАВ: 1 – 27 °С; 2 – 275 °С

IV. Благодарности

Авторы выражают глубокую благодарность Шульгинову А.А. за помощь и полезные замечания.

Работа выполнена при поддержке Минобрания РФ (Тематический план, № 802) и Администрации города.

Литература

1. Исследование влияния магнитного фазового перехода на спектр акустических импульсов, возбуждаемых лазерным импульсом в ферромагнетике / С.Ю. Гуревич, Ю.В. Петров, К.В. Прокопьев, А.А. Шульгинов // Акустический журнал. – 1999. – № 4. – С. 497–501.
2. Исследование температурной зависимости спектров акустических импульсов, возбуждаемых лучом лазера в ферромагнитных металлах / С.Ю. Гуревич, Ю.В. Петров, А.А. Шульгинов, К.В. Прокопьев // Дефектоскопия. – 2000. – № 5. – С. 31–35.
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. Буденков Г.А., Петров Ю.В., Лукманов А.М. Авт. свид. № 406155//Бюлл. изобр. – 1973. – № 45.