

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53 (048)

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ  
И АСТРОНОМИИ И ОТДЕЛЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР**

**(29—30 января 1986 г.)**

29 и 30 января 1986 г. в Институте физических проблем им. С. И. Вавилова АН СССР состоялась совместная научная сессия Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

*29 января*

1. М. И. Каганов, В. Б. Фикс. Трансформация электромагнитной энергии в звуковую электронами металла (теория).

2. А. Н. Васильев, Ю. П. Гайдук. Бесконтактное возбуждение звука в металлах (эксперимент).

3. В. А. Комаров. Электромагнитно-акустическое преобразование — метод неразрушающего контроля.

*30 января*

4. А. А. Комар. Метод рентгенолитографии в микроэлектронике: проблемы и перспективы.

5. А. П. Силин. Полупроводниковые сверхрешетки.

6. А. И. Головашкин, А. Н. Лыков. Субмикронные сверхпроводящие структуры.

Краткое содержание пяти докладов приводится ниже.

**В. А. Комаров.** Электромагнитно-акустическое преобразование — метод неразрушающего контроля. Ультразвуковые методы исследований широко используются в различных разделах физики твердого тела<sup>1</sup>. Однако в ряде случаев (тонкие пленки, высокие и низкие температуры, вакуум, грубая или сложная по профилю поверхность образцов и т. п.) их применение ограничено или крайне затруднено из-за необходимости создания надежного контакта между преобразователем (как правило, в виде пьезоэлемента) и образцом.

В связи с этим разрабатываются различные методы бесконтактного возбуждения звука в твердых средах: с помощью потока заряженных частиц, лазера и т. д.

Наибольшее развитие получил так называемый электромагнитно-акустический (ЭМА) метод, в основе которого лежит явление взаимной трансформации упругих и электромагнитных полей<sup>2</sup>. В результате ЭМА преобразования возможно не только бесконтактное возбуждение звука в твердых телах<sup>3</sup>, но и бесконтактное получение информации о его скорости, амплитуде и затухании с помощью вызываемого им электромагнитного поля. Для измерения последнего и излучения первичного поля используется обычная индуктивная катушка, форму которой легко приспособить к особенностям геометрии образца.

Преобразование полей в твердых телах возможно за счет многих физических явлений, которые ответственны, например, за магнитострикцию, силу Лоренца, силу, обусловленную градиентом намагниченности.

Большое внимание явлению ЭМА преобразования уделили исследователи в области неразрушающих методов испытаний именно из-за возможности бесконтактного возбуждения звука<sup>2</sup>. Многие из созданных ими устройств из-за технологических трудностей были произведены только в единичных экземплярах, но тем не менее, с их помощью удалось продемонстрировать значительные потенциальные возможности использования явления в технических приложениях: возбуждение волн Лэмба и Рэля, измерение кристаллографической анизотропии и определение упругих модулей, измерение внутреннего трения, ввод колебаний под углом и их фокусировка. Например, в США<sup>4</sup> метод нашел использование в таких областях: при высокоскоростном контроле изделий (эксплуатация газопроводов и железной дороги), контроль твердости боеголовок артиллерийских снарядов, обнаружение коррозионных дефектов в трубах, нарушения сплошности в труднодоступных местах крыльев самолетов, контроль сварного шва у алюминиевых труб и при сборке трубопроводов, контроль усадочных раковин в горячих заготовках металла, определение изгиба и обусловленных им напряжений в трубопроводах, измерение толщины листов металла.

Все перечисленные применения ультразвуковых методов в ЭМА варианте прежде всего обязаны бесконтактности, однако существует и принципиально новое направление использования явления взаимной трансформации полей, связанное с механизмами преобразования.

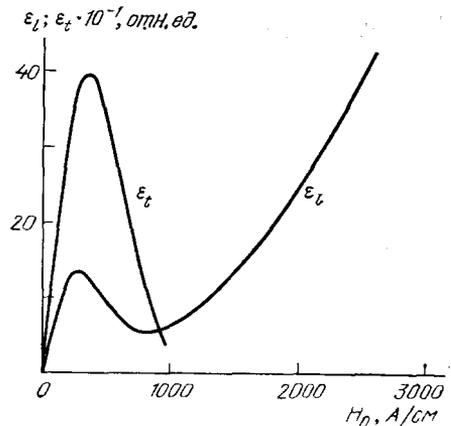
При прокатке горячего металла необходимо вести контроль его толщины для своевременного внесения корректив в режим прокатного стана. На Челябинском металлургическом комбинате используется установка для измерения толщины стенки труб при их изготовлении. Металл нагрет выше точки Кюри. К нему приложен преобразователь в виде катушки и в месте контроля создается необходимое по величине поляризующее магнитное поле.

Металлы под преобразователем охлаждаются воздушным потоком. Температура металла снижается ниже точки Кюри. В момент фазового перехода беспорядок — порядок в металле возбуждаются интенсивные продольные колебания (за счет объемной магнотстрикции<sup>5</sup>), электромагнитное поле которых регистрируется тем же преобразователем. Измеряется временной интервал (как в обычном толщиномере) прохождения импульса звука через двойную толщину металла.

Аналогичные системы используются на металлургических предприятиях Англии и Японии.

Другие применения ЭМА преобразования также связаны с проявлением магнотстрикционного механизма при трансформации полей в ферромагнитных металлах. В этом случае возбуждение упругих волн обусловлено всеми вышеупомянутыми силами, но их зависимость от поляризующего поля определяется различными феноменологическими характеристиками. Объемная сила Лоренца зависит от индукции, поверхностная сила, обусловленная скачком намагниченности на границе раздела сред — от намагниченности и магнотстрикционная сила — или от дифференциальной магнотстрикции при параллельности постоянного поляризующего поля и высокочастотного (ВЧ) поля преобразователя, или от отношения магнотстрикции к амплитуде поляризующего поля, если ВЧ поле перпендикулярно ему. Упругие колебания, определяемые этими силами, дают сложную зависимость от поляризующего поля. Подробное изучение явления ЭМА преобразования<sup>6</sup> показало, что при поляризации ферромагнетика тангенциальным полем (вдоль границы раздела сред), параллельным вектору ВЧ поля, удается создать условия, при которых можно получать информацию о механизмах, электродинамических и обусловленных магнотстрикцией, отдельно. Этому способствует то обстоятельство, что упругие колебания, рожденные силой Лоренца, противофазны колебаниям от поверхностной силы, зависящей от намагниченности. В результате общий их вклад становится зависящим от напряженности внутреннего поляризующего поля и становится заметным проявление магнотстрикционного механизма в сравнительно слабых полях ( $\sim 300-500$  Э).

Оказалось, что эффективность магнотстрикционного механизма в значительной мере зависит от того, как направлены упругие колебания. В свою очередь, направление их распространения зависит от степени неоднородности ВЧ поля вдоль границы раздела сред, т. е. от геометрии излучателя. При создании неоднородного поля проявление магнотстрикционного механизма в слабых полях резко возрастает. На рисунке представлена зависимость эффективности двойного преобразования (электромагнитное поле — звук — электромагнитное поле) от напряженности поляризующего магнитного поля. При сравнительно однородном ВЧ поле эффективность магнотстрикционного механизма ( $\epsilon_1$ ) мала (возбуждаются продольные колебания). При увеличении поля его вклад резко уменьшается и преобладающим становится вклад от электродинамического механизма (участок кривой ( $\epsilon_1$ ) после  $H_0 = 10^3$  А/см).



При неоднородном ВЧ поле в слабых полях резко увеличивается эффективность возбуждения сдвиговых колебаний ( $\epsilon_1$ ) за счет магнотстрикции. В результате удастся использовать ЭМА преобразование для оценки внутренних напряжений второго рода и контроле качества термообработки ста-

лей<sup>6</sup>, измерения внутреннего трения. Разработан прибор ЭМАКС-1Р, позволяющий (в резонансном режиме) использовать явление трансформации полей в практических приложениях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. — М., Мир. 1972.
2. D o b b s E. R. // Physical Acoustics / Ed. W. P. Mason — N.Y.: Academic Press, 1973. — V. 10. P. 127.
3. Васильев А. Н., Гайдук Ю. П. // УФН. 1983. Т. 141. С. 431.
4. A l e r s A. G. // 26th Nat. SAMPLE Symposium and Exhibition, Arusa. 1981. — P. 34.
5. Буденков Г. А., Гуревич С. Ю. // Дефектоскопия. 1981. №. 5. С. 5.
6. Комаров В. А. Квазистационарное электромагнитно-акустическое преобразование в металлах. — Свердловск: УНЦ АН СССР. 1986.