

Л. Л. МЯСНИКОВ и Г. К. УЛЬЯНОВ

МАГНИТО-АКУСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ПАРА- И ДИАМАГНИТНЫХ МЕТАЛЛАХ

(Представлено академиком А. Н. Терениным 6 III 1954)

При исследовании магнитной дисперсии звука был обнаружен магнито-акустический эффект для крутильных звуковых колебаний пластин из алюминия, меди и магния, помещаемых в постоянное магнитное поле; эффект заключается в увеличении фазовой скорости крутильных звуковых волн и возрастании поглощения. Пластины делались из: 1) холодно-прокатной электротехнической меди (направление проката совпадает с длиной пластины); 2) МГ-1 с содержанием Mg 99,91%; 3) алюминия с содержанием Al 99,95%. В качестве возбуждающего и приемного элементов использовались сегнетовые пластинки 90° X-среза (а также L-среза), которые приклеивались к торцевым поверхностям удлиненных прямоугольных пластин из испытуемых металлов. Собственные колебания пластины возбуждались путем подачи на пьезоэлемент напряжения от генератора звуковой частоты с частотой, плавно изменяемой в диапазоне от 2 до 20 кГц. Напряжение с приемного пьезоэлемента после усиления подавалось на ламповый вольтметр. Постоянное (и однородное) магнитное поле, в которое помещалась испытуемая пластина, создавалось электромагнитом от магнитного анизометра системы Акулова с сердечником из железа армко. Исследование магнито-акустического эффекта производилось методом зондирующего тона: снимался спектр собственных колебаний без магнитного поля и при наличии поля с разными значениями магнитной индукции.

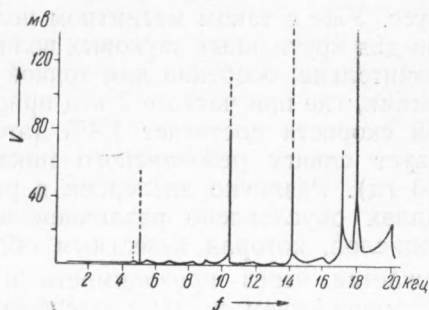


Рис. 1

На рис. 1 представлен акустический спектр алюминиевой пластины длиной $l = 135,5$ мм, шириной $b = 7,5$ мм и толщиной $h = 1,8$ мм, возбуждаемый сегнетовой пластиной L-среза, причем показано ослабление спектральных компонент в магнитном поле. Наблюдается также смещение спектральных линий в сторону высоких частот, что свидетельствует об увеличении фазовой скорости (на рисунке оно не показано ввиду малости масштаба). На спектральную компоненту с частотой около 18,5 кГц магнитное поле влияет мало: это основной тон продольных колебаний; другие компоненты, соответствующие поперечным и крутильным собственным колебаниям, испытывают значительное влияние магнитного поля.

В том же диапазоне частот и в диапазоне магнитных индукций от 0 до 10^4 гц были сняты акустические спектры медных и магниевых пластин. Все пластины делались одной длины (131,5 мм), ограниченной

областью однородности магнитного поля, одной ширины (7,5 мм) и с толщинами в 1 и в 1,8 мм. Пластина закреплялась в узле колебаний; при настройке на нечетные гармоники пластина зажималась в середине, а при настройке на четные гармоники закрепление переносилось в ближайший к середине узел. Для отождествления типов колебаний и определения порядка гармоник распределение узлов и пучностей стоячих волн исследовалось посредством акустического зонда и индикаторной катушки, и это распределение сопоставлялось с расчетными данными для распределения узлов и пучностей при поперечных, крутильных и других колебаниях. Для получения магнитно-акустического эффекта в более чистом виде создавались условия, когда в пластинке возбуждался преимущественно один тип волн. При создании крутильных волн пластина возбуждалась пьезоэлементом из сегнетовой соли 90° X-среза и располагалась узкой боковой гранью перпендикулярно вектору магнитной индукции. В этих спектрах были заметны одни

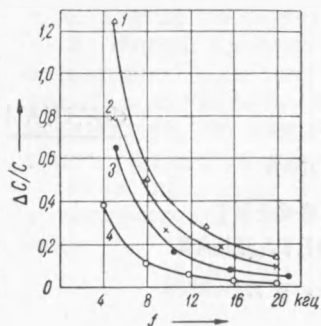


Рис. 2. 1—Mg, $h=1$ мм; 2—Mg, $h=1,8$ мм; 3—Al, $h=1,8$ мм; 4—Cu, $h=1,8$ мм

крутильные компоненты.

Исследование магнитной дисперсии проводилось для каждой компоненты спектра. Измерение ширины резонансных линий и величины смещения резонансных частот в зависимости от магнитного поля делалось методом биений, позволявшим отмечать изменение частоты с точностью до 1 гц.

На рис. 2 представлены результаты измерений относительного увеличения скорости в зависимости от частоты при постоянстве магнитной индукции, равной $B=3500$ гаусс. Уже в таком магнитном поле дисперсия для крутильных звуковых волн довольно значительна, особенно для тонкой пластины магния, где при частоте 7 кГц прирост фазовой скорости достигает 1,3% (это соответствует сдвигу резонансного пика порядка 100 гц). Различие дисперсии в разных металлах обусловлено различием в толщине скин-слоя, которая известным образом выражается через проводимость и магнитную проницаемость металла. С уменьшением частоты распределение индуцированных токов по толщине становится более равномерным, и дисперсия в области низких частот возрастает. При уменьшении толщины пластины скин-эффект сказывается более заметно, и дисперсия также возрастает.

На рис. 3 показана для тех же случаев частотная зависимость логарифмического декремента затухания. При низких частотах логарифмический декремент затухания увеличивается в магнитном поле во много раз, и поглощение крутильных звуковых волн становится весьма значительным.

Была исследована зависимость относительного изменения логарифмического декремента затухания от величины магнитной индукции; она оказалась близкой к квадратичной. На рис. 4 приводится одно из снятых семейств кривых для магния. Сходная зависимость от магнитной индукции получается и для относительного изменения скорости.

Контрольные измерения распределения вихревых токов при помощи индикаторной катушки показали, что распределение компонент напря-

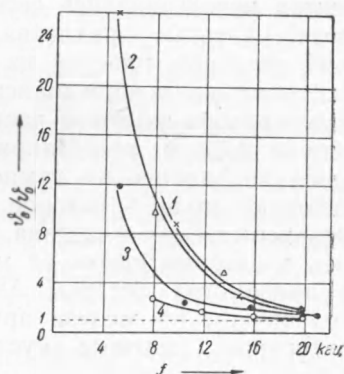


Рис. 3. Обозначения кривых те же, что на рис. 2

женности магнитного поля вихревых токов вдоль боковых граней пластин при не слишком сильных постоянных полях близко к синусоидальному. В узлах и пучностях смещений получаются, соответственно, минимумы и максимумы напряженности магнитного поля вихревых токов. Однако вихревые токи выражены более заметно при расположении пластины узкой боковой гранью перпендикулярно полю, и действительно, при крутильных колебаниях узкие грани имеют наибольшие переменные смещения, и вследствие скин-эффекта вихревые токи здесь возрастают.

Таким образом, магнитно-акустический эффект при крутильных колебаниях пластин в магнитном поле обусловлен возникновением вихревых токов; при этом изменяется эквивалентное акустическое сопротивление. Активная компонента акустического сопротивления возрастает, что приводит к затуханию крутильных волн; возрастает и реактивная («упругая») компонента, что приводит к увеличению фазовой скорости.

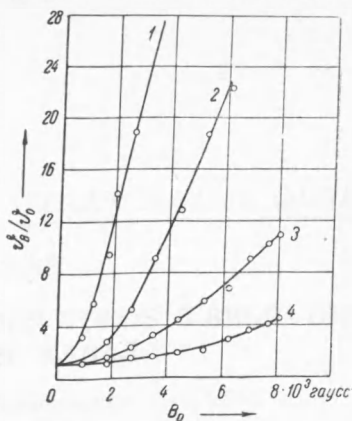


Рис. 4. Mg, $h = 1,8$ мм. 1 — 4900 гц, 2 — 9700 гц, 3 — 14800 гц, 4 — 19900 гц

Ленинградский
кораблестроительный институт

Поступило
2 III 1954