

Л. Л. МЯСНИКОВ и Г. К. УЛЬЯНОВ

О МАГНИТНОЙ ДИСПЕРСИИ ЗВУКА ПРИ ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ

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

Магнитная дисперсия для продольных звуковых волн в пара- и диамагнитных металлических пластинах и стержнях обязана возникновению вихревых токов в проводнике, колеблющемся перпендикулярно постоянному магнитному полю, и скин-эффекту. Активное сопротивление, эквивалентное сопротивлению потерь в металле за счет вихревых токов, создает добавочное затухание звука, а дополнительная эквивалентная упругость, обусловленная электромеханическими силами, препятствующими движению проводника, увеличивает фазовую скорость звука, причем дисперсия в основном зависит от скин-эффекта. Теория ⁽¹⁾ приводит к выводам о существовании значительной магнитной дисперсии в диапазоне слышимых звуковых частот при продольных колебаниях пластин и стержней из неферромагнитных металлов, в том числе из алюминия. Между тем магнитная дисперсия в алюминии экспериментально обнаружена не была ⁽²⁾ и данные теории не подтвердились.

В настоящей работе, начатой раньше появления первых упоминаний в печати об указанном явлении, удалось установить, что магнитная дисперсия звука при продольных колебаниях пластин из пара- и диамагнитных металлов в действительности существует, но выражена значительно слабее, чем это следует из теории ⁽¹⁾.

В качестве образцов были взяты прямоугольные алюминиевые пластины (с содержанием Al 99,95%) длиной 131,5 мм, шириной 7,5 мм и с толщинами 1 и 1,8 мм. Для возбуждения и приема колебаний применялись миниатюрные пластинки сегнетовой соли 45° X-среза, укрепленные на концах образца. На возбуждающую пластинку подавалось напряжение от генератора звуковых частот; приемная пластинка подключалась к измерительному усилителю с ламповым вольтметром на выходе. Исследовался спектр собственных продольных колебаний алюминиевой пластины при отсутствии и при наличии внешнего магнитного поля. Акустический спектр, снятый в диапазоне 2—20 кГц (см. рис. 1), свидетельствует о достаточной определенности условий наблюдений: кроме резонансной линии на частоте 18,5 кГц, соответствующей основному тону продольных колебаний, нет других, которые могли бы соответствовать другим типам волн.

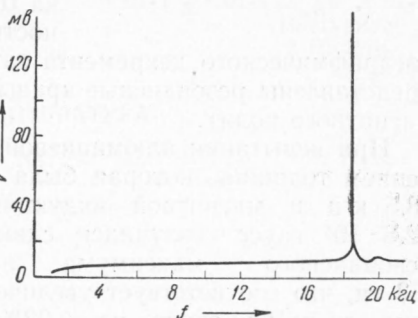


Рис. 1. Al. $h = 1,8$ мм; $b = 7,5$ мм; $l = 131,5$ мм. Пьезоэлементы 45° X-среза

Для измерения ширины спектральной линии, порядок которой всего несколько герц, а также малых смещений линии в магнитном поле применялся метод биений; биения создавались между двумя генераторами звуковых частот, одному из которых задавалась постоянная расстройка на 50 гц; небольшое изменение частоты другого генератора при плавном проходе резонансной области давало изменение частоты биений, которое измерялось электронным частотометром.

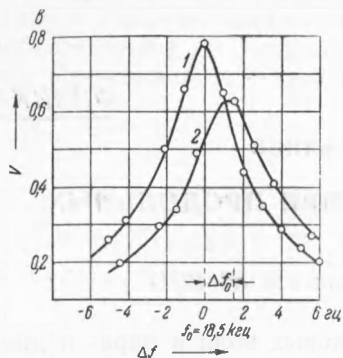


Рис. 2. Al. $h=1,8$ мм; $b=75$ мм; $l=131,5$ мм. Пьезоэлементы 45° X-среза. 1— $B_0=0$, 2— $B_0=12800$ гаусс. $\Phi=6\cdot 10^{-4} \pm 1\cdot 10^{-4}$, $\Phi_{B_0}=7\cdot 10^{-4} \pm 1\cdot 10^{-4}$

логарифмического декремента затухания составило 15% (см. рис. 2, где представлены резонансные кривые, снятые при отсутствии и при наличии магнитного поля).

При испытании алюминиевой пластинки тех же размеров, за исключением толщины, которая была меньше и равнялась 1 мм, при частоте 18,5 кгц и магнитной индукции $12,8\cdot 10^3$ гаусс получился сдвиг резонансного максимума на +3 гц, что соответствует увеличению скорости звука на 0,02%; затухание увеличилось на 30%. Наблюдаемая зависимость логарифмического декремента затухания от магнитной индукции дана на рис. 3.

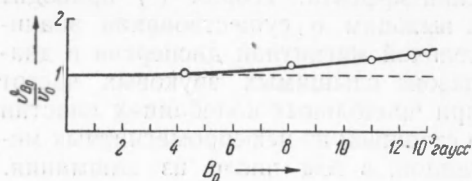


Рис. 3. Al. $h=1$ мм; $b=7,5$ мм; $l=131$ мм. Пьезоэлементы 45° X-среза. $f_0=18,5$ кгц, $\Phi_0=5,4\cdot 10^{-4}$

При исследовании распределения вихревых токов вдоль пластины применялся метод электромагнитного зонда (индикаторной катушки). На подвесе, на котором крепилась алюминиевая пластинка, помещенная в магнитное поле, на держателе из органического стекла, перемещаемом по отсчетной линейке, располагалась миниатюрная индикаторная катушка (средний диаметр намотки 4 мм, провод ПЭ-0,05, число витков 680). Катушка была ориентирована для приема компоненты переменного магнитного поля, перпендикулярной широкой боковой грани пластины, и перемещалась вдоль пластины. Напряжение, индуцированное в катушке, пропорциональное соответствующей составляющей напряженности магнитного поля вихревых токов, подводилось к измерительному усилителю. Полученное распределение по длине пластины приведено на рис. 4; на нижней половине показано распределение акустического смещения. Максимум токов получился в узле смещения при продольных колебаниях в основном тоне. Компонента напряженности переменного магнитного поля, перпендикулярная узкой грани пластинки, практически отсутствует. Третья компонента дает распределение токов с минимумом в узле смещения. Эти результаты находятся в хорошем соответствии с теорией (1).

В итоге работы мы пришли к следующим выводам.

1. Магнитная дисперсия в продольных звуковых волнах в алюминиевых пластинах наблюдается; однако изменение скорости звука в частотном диапазоне 2—20 кГц под влиянием магнитного поля на 1—2 порядка меньше, чем это вытекает из теории. Качественно теоретические выводы ⁽¹⁾ относительно влияния на дисперсию величины магнитной индукции, толщины пластины, а также распределения вихревых токов соблюдается. Отрицательный результат прежних экспериментальных исследований ⁽²⁾ следует объяснить незначительностью дисперсии в круглых стержнях сравнительно большого сечения.

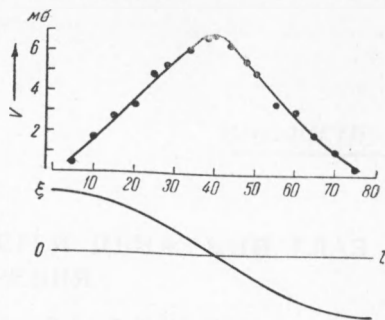


Рис. 4

2. Если не считать имеющиеся в статье ⁽¹⁾ опечатки, окончательные числовые данные получены в соответствии с теорией; сама теория разработана вполне корректно, исходя из чисто классических соображений. Повидимому, расхождение теории с опытом объясняется недостаточностью классического описания магнитной дисперсии звука.

Ленинградский кораблестроительный институт

Поступило
2 III 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ D. H. Robey, J. Acoust. Soc., 25, No. 4, 603 (1953). ² R. W. Leonard, ibid., 25, No. 4, 835 (1953).