

УДК 539.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ  
ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КОЛЕБАНИЯ  
ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПЛАСТИНКИ

Ванцян А.А.

Ա.Ա. Վանցյան

Հաստատուն մագնիսական դաշտի ազդեցության փորձարարական ուսումնասիրությունը  
ֆերոմագնիսական սալի հարկադրական տատանումների վրա

Փորձարարական ճանապարհով դիտարկված է հաստատուն մագնիսական դաշտի  
ազդեցությունը ֆերոմագնիսական սալի ընդայնական հարկադրական տատանումների  
լայնույթի, արագության և արագացման վրա: Բերված գրաֆիկների միջոցով ցույց է տրված  
նշված մեծությունների կախվածությունը մագնիսական դաշտից սալի մինչ և ետոեզոնանսային  
հանախությունների համար:

A.A. Vantsyan

Experimental Investigation of the Influence of Direct Magnetic Field on the Forced Vibration of  
Ferromagnetic Plate

Экспериментальным путем рассмотрено влияние постоянного магнитного поля на  
амплитуды, скорости и ускорения вынужденных колебаний ферромагнитной пластины. С  
помощью приведенных графиков показана зависимость указанных величин для до и после  
резонансных частот пластины.

Вопросам влияния электромагнитных полей на колебательные процессы в электропроводящих и ферромагнитных пластинах посвящен ряд работ [1-13]. В частности, в [1,4,7] выводятся уравнения магнитоупругих колебаний для идеально проводящих пластинок и стержней в начальном магнитном поле. При этом используется обобщенный принцип плоских сечений. В [2] рассматриваются магнитоупругие продольные, вынужденные гармонические колебания идеально проводящей упругой пластинки в пустоте, в начальном постоянном магнитном поле. Теоретически показана возможность идеального резонанса, т.е. неограниченное увеличение амплитуды колебания при  $H = 0$ . Показано также, что при  $H \neq 0$  амплитуды колебания вследствие излучения электромагнитных волн в пустоту остаются ограниченными. Теоретически определены основные частоты резонанса и коэффициенты изменения амплитуд перемещений и напряжений.

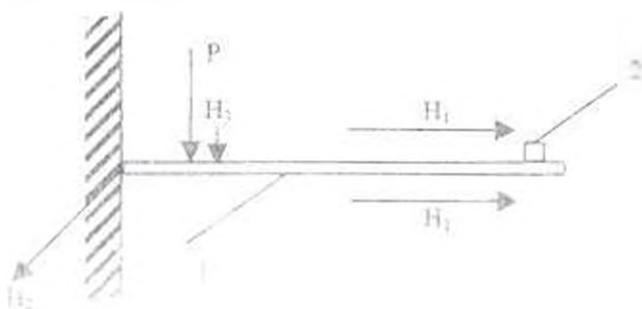
Задачи о распространении магнитоупругих волн в твердых телах рассмотрены в [8,9]. Теоретически анализ устойчивости и колебания плоской ферроупругой пластинки в однородном статическом магнитном поле, направленном под углом к ее плоскости, проведен в [6]. Показано, что

потеря устойчивости происходит лишь тогда, когда поле является почти нормальным к пластинке. Найдено критическое значение напряженности магнитного поля, при котором происходит потеря устойчивости свободно опертой круглой пластинки. Получено дисперсионное соотношение между частотой, волновым числом и напряженностью. В [10] для изотропной упругой как диэлектрической, так и электропроводящей, магнитомягкой ферромагнитной пластинки исследуются как качественное изменение основных величин физического процесса под действием магнитного поля, так и качественно новые явления, обусловленные взаимодействием механических и электромагнитных процессов в деформируемых тонких телах. Исходя из основных положений классической теории тонких пластин, выведены уравнения и соответствующие условия, описывающие поведение проводящих магнитомягких ферромагнитных пластин в магнитном поле.

В [5] предлагается математическая модель, основанная на квазистатическом решении для намагничивания деформируемой пластины в поперечном магнитном поле.

В [11] в пространственной постановке изучена задача вибрации магнитоупругой пластинки как в поперечном, так и продольном поле. Проведены эксперименты для проводящей пластинки с целью выяснения влияния магнитного поля на величину амплитуды, скорости и ускорения колеблющейся под действием осциллирующей силы пластины. Экспериментальные исследования показали [12,13], что воздействием магнитного поля индукцией  $\sim 10^{-3} - 10^{-2}$  тл в несколько десятков раз изменяются указанные характеристики колебания электропроводящей пластины. Выявлено также, что экспериментальное изучение влияния магнитного поля можно проводить на резонансных для пластин частотах, что дает возможность при сравнительно малых полях наблюдать физические процессы, происходящие в пластинах.

Целью настоящей работы является экспериментальное изучение изгибных волн для вынужденных и свободных колебаний ферромагнитной консольной пластинки в продольном и поперечном



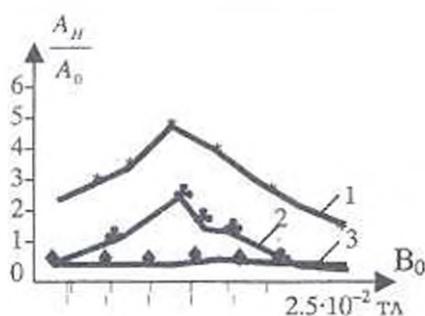
Фиг.1

постоянном магнитном поле (МП). В качестве ферромагнитного материала использовались стальные пластинки разных толщин. Пластинка 1 помещалась в магнитное поле сфероида (фиг.1) и посредством осциллирующей силы

$$p = p_0 \sin \omega t$$

пластинке сообщались колебания. Сигналы, полученные от датчика 2, подавались на вход усилителя осциллографа, а затем и на вход цифрового прибора, указывающие значения перемещения, скорости и ускорения точки пластинки, где закреплен датчик 2.

С целью увеличения мощности получаемого сигнала датчик был закреплен в конце пластинки. Измерения для выбранной пластинки проводились как при наличии, так и при отсутствии МП. Эксперименты проводились как для разных мод пластинки, так и вне резонансных частот. При одних и тех же условиях изучались относительные величины  $A_{II}/A_0$ ,  $V_{II}/V_0$ ,  $W_{II}/W_0$  при разных величинах постоянного МП. Во избежание случайных ошибок измерений, эксперименты проводились несколько раз при одних и тех же условиях.

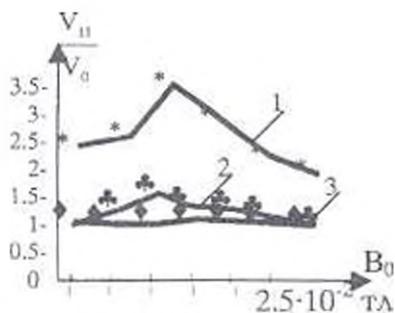


Фиг. 2

$\bar{H}(H_1, 0, 0)$ ,  $2h = 2.10^{-3} \text{ м}$   
1.  $\omega = 90$  гц, 2.  $\omega = 120$  гц, 3.  $\omega = 146$  гц

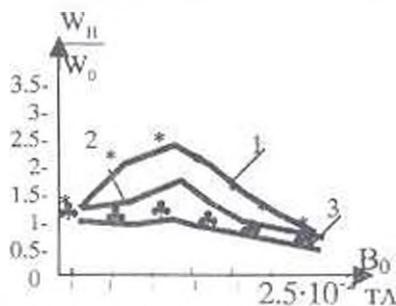
На фиг. 2–6 показаны соответствующие зависимости от величины продольного  $\bar{H}(H, 0, 0)$  МП для разных частот осциллирующей силы  $p$ . На фиг. 7,8 приведены результаты экспериментов для полей  $\bar{H}(0, H_2, 0)$  и  $\bar{H}(0, 0, H_3)$  соответственно.

Как видно из фиг.2, при частоте осциллирующей силы  $p$ , равной приблизительно  $\Pi$  резонансной гармонике, где



Фиг. 3

$\bar{H}(H_1, 0, 0)$ ,  $2h = 2.10^{-3} \text{ м}$   
1.  $\omega = 90$  гц, 2.  $\omega = 120$  гц, 3.  $\omega = 146$  гц



Фиг. 4

$\bar{H}(H_1, 0, 0)$ ,  $2h = 2.10^{-3} \text{ м}$   
1.  $\omega = 90$  гц, 2.  $\omega = 120$  гц, 3.  $\omega = 146$  гц

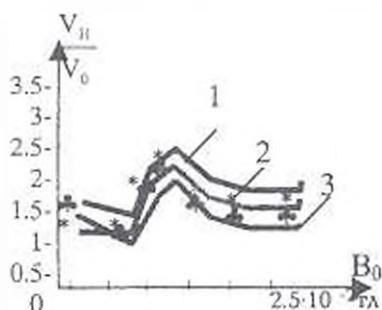
расчетная  $\omega_{II} = 142.35$  гц (кривая 1), увеличение амплитуды от МП носит экстремальный характер, что качественно совпадает с результатами [10]. Колебание пластинки имеет такое же поведение и при частоте силы  $p$ .

близкой (при меньших и при больших) к резонансной (кривая 2, где  $\omega = 120$  гц).

Уменьшение амплитуды колебания наблюдается в случае после резонансной частоты. Указанные зависимости более наглядны для скорости и ускорения колебания.

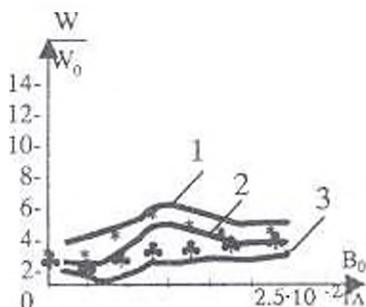
На фиг. 3, 4 показаны соответствующие зависимости, где кривые 1 зависимость  $\frac{V_{II}}{V_0}(B)$  и  $\frac{W_{II}}{W_0}(B)$  до резонансной частоты, кривые 2 близкие к резонансной, а кривая 3 фиг. 3 соответствует колебанию пластинки после резонансной частоты.

На фиг. 5, 6 приведены аналогичные зависимости для половины частоты третьей гармоники, где расчетная частота для третьей гармоники (при  $H = 0$ )  $\omega_{III} = 1603.53$  гц.



Фиг. 5

$\vec{H} (H_1, 0, 0)$ ,  $2h = 8 \cdot 10^{-3}$  м  
 $1. \omega = 840$  гц,  $2. \omega = 850$  гц,  $3. \omega = 900$  гц

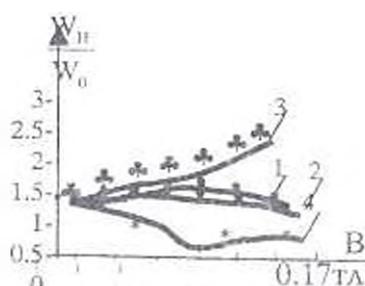


Фиг. 6

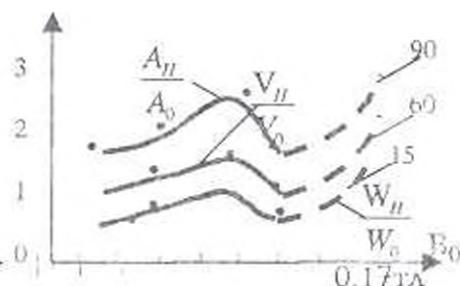
$\vec{H} (H_1, 0, 0)$ ,  $2h = 8 \cdot 10^{-3}$  м  
 $1. \omega = 840$  гц,  $2. \omega = 850$  гц,  $3. \omega = 900$  гц

На фиг. 5 приведены зависимости  $\frac{V_{II}}{V_0}(B)$  для стальной пластинки толщиной  $2h = 8 \cdot 10^{-3}$  м при разных частотах осциллирующей силы  $p$ , где для расчетной II гармоники при  $H = 0$ ,  $\omega_{II} = 968$  гц. Кривая 2 показывает зависимость при резонансной частоте, а кривые 1 и 3 — до и после резонансной частот соответственно. На фиг. 6 приведены соответствующие кривые для ускорения колебания пластинки толщиной  $2h = 8 \cdot 10^{-3}$  м. Как видно из фиг. 2-6, происходящие внутри пластинки явления существенно зависят от толщины пластинки и частоты колебания, последняя зависимость опять-таки приводит к зависимости от толщины. На мой взгляд, такая зависимость объясняется явным выделением внутри пластинки скин-слоя, приводящим к зависимости явлений по толщине пластин. Результаты экспериментов для стальной пластинки толщиной  $2h = 3 \cdot 10^{-3}$  м в поле  $\vec{H}(0, H_2, 0)$  приведены на фиг. 7. В этом

эксперименте максимальное значение индукции МП  $B \sim 0.17$  тл. Для наглядности на фиг. 7 приведены графики  $\frac{W_{II}}{W_0}(B)$  для второй гармоники, где расчетная  $\omega_{II} = 213.5$  гц. Как и следовало ожидать, при больших полях также имеет место аналогичная зависимость.



Фиг. 7



Фиг. 8

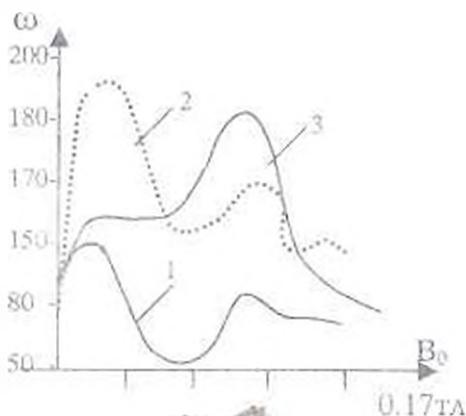
$\vec{H}(0, H_3, 0)$ ,  $2h = 3 \cdot 10^{-2}$  м

1.  $\omega = 222$  гц, 2.  $\omega = 240$  гц, 3.  $\omega = 210$  гц.

4.  $\omega = 217$  гц

$\vec{H}(0, 0, H_3)$ ,  $2h = 2 \cdot 10^{-2}$  м,  $\omega = 180$

Значительное изменение указанных величин наблюдается при наличии поля  $\vec{H}(0, 0, H_3)$ , где для максимального значения магнитной индукции  $B_0 \sim 0.17$  тл увеличение амплитуды происходит по порядку в 90 раз, а для скорости и ускорения в  $\sim 60$  и в  $\sim 15$  раз соответственно. Указанные зависимости приведены на фиг. 8, где кривые 1, 2, 3 показывают  $\frac{A_{II}}{A_0}$ ,  $\frac{V_{II}}{V_0}$ ,  $\frac{W_{II}}{W_0}$  соответствующие изменения. Такое сильное



Фиг. 9

изменение указанных величин в поле  $\vec{H}(0, 0, H_3)$  по сравнению с полем  $\vec{H}(H_1, 0, 0)$  было теоретически показано в [10], где также отмечено, что зависимость амплитуды от величины индукции магнитного поля является монотонно убывающей для послерезонансной частоты, а при колебании пластинки с частотой дорезонансной, нарушается монотонная

зависимость амплитуды от индукции МП. В этом случае амплитуда (как показывают эксперименты настоящей работы, также скорость и ускорение) колебаний имеет точку максимума и наличие МП приводит к существенному увеличению амплитуды колебаний. Проведены также экспериментальные исследования по изучению влияния МП на собственные частоты колебания пластинки

Результаты экспериментов приведены на фиг.9, где кривая 1 соответствует стальной пластинке  $2h = 5 \cdot 10^{-3}$  м в поле  $\vec{H}(0,0,H_0)$ , а кривые 2 и 3 – для алюминиевой и стальной пластинки в поле  $\vec{H}(H_1,0,0)$ . Таким образом, характер влияния МП на вынужденные и свободные находящиеся в МП колебания пластинки существенно отличается. Если при вынужденных колебаниях МП приводит к увеличению исследуемых величин, то при свободно находящейся в МП ферромагнитной пластинки МП приводит к уменьшению амплитуды и демпфированию колебания, что было также отмечено в [5]

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kaliski S. Magnetoelastic vibration of perfectly conducting plates and arcs assuming the principle of plane sections //Proceedings of vibration problems. Warsaw 1962 Vol 3 №4. PP 225 – 234
2. Kaliski S. Magnetoelastic resonance vibration of a perfectly conducting plate in a magnetic field. Proceedings of vibration problems. Warsaw. 1962. Vol. 3 №4 PP.235 – 243
3. Kaliski S. Michalec J. The resonance amplification of a magnetoelastic wave radiated from a cylindrical cavity. Proceedings of vibration problems. Warsaw. 1963 Vol.1 №4 PP.7 – 15
4. Амбарцумян С.А., Багдасарян Г.Е. Электропроводящие пластинки и оболочки в магнитном поле. М.: Физматгиз, 1966. 287с
5. Мун Ф.С., Пао И-синг. Колебания и динамическая неустойчивость стержня-пластины в поперечном магнитном поле //Тр. Американского общества инженеров-механиков, сер. Е. ПМ. 1969 Т.36. С 98 – 108.
6. Мун Ф.С. Механика ферромагнитных пластинок в однородном магнитном поле. //Тр. Американского общества инженеров-механиков, сер. Е. ПМ Т 37 №1 1970 С 160 – 166
7. Амбарцумян С.А., Багдасарян Г.Е., Белубекян М.В. Магнитоупругость тонких оболочек и пластин. М.: Наука, 1977. 272с

8. Багдоев А.Г., Мовсисян Л.А. Нелинейные колебания пластины в продольном магнитном поле. // Изв. АН Арм ССР. Механика. 1982. Т.35. №1. С.16–22.
9. Dunkin J.W., Eringen A.C. On the propagation of waves in an electromagnetic elastic solid. *Int.J. Engng. Sci* 1963. PP.461–495.
10. Багдасарян Г.Е. Колебания и устойчивость магнитоупругих систем. Ереван: Изд. „Тигран Мец“. 1999. 437с.
11. Bagdoyev A.G., Vantsian A.A Theoretical and experimental investigations of waves in plate in magnetic field for space and averaged problems. *Int. J. Solids and Structures* 39. (2002) PP.225—259.
12. Багдоев А.Г., Ванцян А.А., Сафарян Ю.С. Теоретические и экспериментальные исследования изгибных волн в пластинах в магнитном поле для пространственной и осредненной постановки.// Информационные технологии и управление №2001.
13. Ванцян А.А., Григорян Н.К., Сафарян Ю.С. Экспериментальное исследование влияния постоянного магнитного поля на вынужденные поперечные колебания пластины.// Изв. НАН РА. Механика. 2002. Т.55. №2. С.63-67.

Институт механики  
НАН Армении

Поступила в редакцию  
20.12.2002