

О ВЗАИМОСВЯЗИ ЭЛЕКТРО ТЕПЛО И ЗВУКОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ
МЕТАЛЛДАРДЫН ЖАНА АНЫН ЭРИТМЕЛЕРИНИН ЭЛЕКТР ЖЫЛУУЛУК ЖАНА
ҮН ӨТКӨРҮМДҮҮЛҮКТӨРҮНҮН ОРТОСУНДАГЫ БАЙЛАНЫШ ЖӨНҮНДӨ
ON THE RELATIONSHIP BETWEEN ELECTRO, HEAT SOUND CONDUCTIVITY OF
METALS AND ALLOYS

Кыдыралиев С. – д.т.н. профессор, ЖАГУ
Мурзалиев К. – старший преподаватель, ЖАГУ

Аннотация: В статье раскрывается природа звукопроводности металлов и сплавов. Установлено, что и теплопроводность и электропроводность и звукопроводность связаны между собой с наличием свободных электронов в металле.

Аннотация: Бул макалада металлдардын үн өткөрүүмдүүлүгүнүн жаратылышы ачып көрсөтүлгөн. Электр өткөрүмдүүлүк, жылуулук өткөрүмдүүлүк жана үн өткөрүмдүүлүк металлдардагы эркин электрондордун концентрациясы менен байланышкандыгы көрсөтүлгөн.

Annotation: This article is devoted to the study of the relationship between electro, heat and sound conductivity of metals and alloys. It is established that these properties are interconnected by the presence of free electrons in metals.

Ключевые слова: металлы, электроны, электропроводность, теплопроводность, звукопроводность.

Ачык сөздөр: металлдар, электрондор, электр өткөрүмдүүлүк, жылуулук өткөрүмдүүлүк, үн өткөрүмдүүлүк.

Key words: metals, electrons, electrical conductivity, thermal conductivity, sound conductivity.

Известно, что в металлах кроме связанных с атомами электронов имеются еще не связанные свободные электроны [1,2,3]. Поэтому металлы обладают высокой электропроводностью и широко используются в качестве проводников. Кроме этого металлы из-за высокой прочности используются в качестве конструкционного материала для создания различных машин. Так же известно сведения о взаимосвязи электропроводности и теплопроводности металлов под названием закона Видемана-Франца [1,2,3]. По-видимому электропроводность и теплопроводность металлов взаимосвязаны потому, что свободные электроны участвуют при переносе заряда и теплоты через металлы [4,5]. Нам известны хорошо звучащие металлические колокола обладающие высокой прочностью. Однако в физике металлов неизвестна взаимосвязь между электро тепло и звукопроводностью металлов. При создании звучащей или шумогасящей техники или технологии это взаимосвязь имеет актуальное значение. По этому данная работа посвящена к выявлению этой важной взаимосвязи.

В данной работе выдвинута гипотеза о том, что между электропроводностью и звукопроводностью металлов существует взаимосвязь. Это связано со свободными электронами. Исследуем эту гипотезу.

Электропроводность металлов по модели Друде определяете последующей формуле

$$G = \frac{ne^2\lambda}{2m\vartheta} \text{ (сименс} \cdot \text{ м)} \quad (1)$$

где n - концентрация электронов проводимости или концентрация свободных электронов в металле

λ - длина свободного пробега электрона

ϑ - скорость движения электрона

m - масса электрона

коэффициент теплопроводности металлов определяется по следующей формуле

$$\mathcal{H} = \frac{1}{3} \lambda v n C_e \quad C_e = \frac{3}{2} k$$

Где λ - длина свободного пробега электрона

ϑ - скорость движения электрона

n - концентрация электронов

k - постоянная Больцмана

C_e - теплоемкость одного электрона

$$C_e = \frac{3}{2} k$$

Поставив C_e на свое место в формулу получим

$$\mathcal{H} = \frac{1}{3} \lambda v n \frac{3}{2} k = \frac{1}{2} \lambda v n k \text{ (Вт/(м}^0\text{К)) (2)}$$

Из формулы (1) и (2) видно, что и электропроводность и теплопроводность металлов зависят от концентрации электронов проводимости, от их скорости и от длины свободного пробега электрона

Такая четкая ясность по отношению звукопроводности металлов в современной литературе отсутствует. Фононная звукопроводность металлов наиболее исследована, а электронная звукопроводность не исследована [6].

Попробуем исследовать природу звукопроводности. Звук в физике рассматривается как упругая волна. Поток энергии волн равен отношению энергии, переносимой волнами через некоторую поверхность к времени, в течении которого эта энергия будет перенесена

$$\Phi = \frac{dE}{dt} \text{ (ватт)} \quad \text{или} \quad \Phi = \omega_p S v$$

где ω_p - объемная плотность энергии колебательного движения

S - площадь через которую проходит волна

v - скорость распространения звука через металл

Поток энергии волн, отнесенный к площади, ориентированной перпендикулярно распространения волн, называют плотностью потока энергии волн или интенсивностью волн

$$I = \frac{\Phi}{S} = \omega_p v \quad \text{или} \quad I = \omega_p v \quad \text{это соотношение называется вектором Умова}$$

Единицей плотности потока энергии волн является Вт/м²

Энергия, переносимая упругой волной, складывается из потенциальной энергии кристаллической решетки и кинетической энергии колеблющихся частиц

Механическая энергия колеблющейся системы:

$$E = \frac{1}{2} k A^2 = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2 \quad (3)$$

$\mathcal{V} = \omega_0 / (2\pi)$ - частота колебания системы

A - амплитуда колебания. В формулу (3) вместо массы отдельной частицы если поставим плотность \mathcal{P} вещества, то получим

$$\omega_p = \mathcal{P} A^2 \omega_0 / S$$

Поставив это в вектор Умова получим $I = (\mathcal{P} A^2 \omega_0^2 / 2) v$

Таким образом вектор Умова для упругой волны зависит от плотности среды квадрата амплитуды частиц, квадрата частоты колебания и скорости распространения волны

Звуковое давление P зависит от скорости v колеблющихся частиц среды.

Вычисления показывают, что $\frac{P}{v} = \rho C$ или $P = \rho C v$

Где ρ – плотность среды

C – скорость волны в среде

Произведение ρC называют удельным акустическим импедансом, для плоской волны его называют также волновым сопротивлением.

Допустим, что плоская волна падает нормально к границе раздела интенсивностью I_1 интенсивность переломленной волны во второй среде I_2 , назовем

$$B = I_1/I_2$$

коэффициентом проникновения звуковой волны

Релей показал, что коэффициент проникновения для звука определяется формулой

$$B = 4 \frac{c_1 \rho_1 / c_2 \rho_2}{[c_1 \rho_1 / (c_2 \rho_2) + 1]^2}$$

Таким образом, можно утвердить, что часть энергии звуковой волны отражается от поверхности твердого тела и часть энергии проникает в глубину твердого тела и часть энергии проникает в глубину твердого тела и может выйдти с обратной стороны твердого тела. Когда звук проходит сквозь кристаллической решетки твердого тела при переносе энергии звука участвуют атомы кристаллической решетки и свободные электроны которые занимают межатомное пространство.

Тепловая энергия когда передается через твердое тело, при переносе энергии участвуют колебавшиеся атомы и свободные электроны. Интенсивность движения этих частиц зависит от разницы температуры на поверхности и в глубине твердого тела.

С этой позиции звукопроводность и теплопроводность имеют близкую природу, т.к. и теплота и звуковая энергия передаются за счет колебательного движения частиц твердого тела

Электроперенос связан с переносом зарядов. Заряд может нести энергию колебательного движения. Когда заряд электрона переносится через металл, тогда за счет столкновения атомов с электронами проводник нагревается до высоких температур

Когда отсутствуют свободные электроны, например в диэлектриках, тогда перенос заряда не возможен. Поэтому диэлектрики выполняют свое назначение в технике.

Однако диэлектрики за счет колебания нейтральных атомов без ухода из узлов кристаллической решетки могут пропустить и звуковую энергию и тепловую энергию. Такое явление называется в физике фононным переносом энергии.

Таким образом электропроводность теплопроводность и звукопроводность связаны между собой переносом энергии. Из закона Видемана-Франца известно, что и теплопроводность и электропроводность осуществляются за счет электронов проводимости. Связь между звукопроводностью и электронами проводимости в науке остается не выясненной.

Доказательство выдвинутой гипотезы

Исследования были проведены на примере снижения шума направляющих труб токарных автоматов. (НТТА- направляющие трубы токарного автомата). Источником звука является соударение стальных прутков по внутренней поверхности направляющей трубы токарного автомата. Микрофон импульсного шума мера располагается на расстоянии 50 см от направляющей трубы по ее центру, т.е. шум измерялся с наружи. Оценивался звукопроводность стенки направляющей трубы. В начале направляющая труба было изготовлено из пластмассы, т.е. из диэлектрика. Тогда уровень шума был низким. Шумогосящее свойство диэлектрика было высокое, т.е. электроны проводимости в диэлектрике отсутствует. Поэтому из внутренней поверхности в наружную поверхность

звук проходит с трудом. Поэтому уровень шума был низким. Однако диэлектрик обладал низкой прочностью и быстро разрушался. Поэтому он широкое применение не нашел.

В основном исследовалась звукопроводность следующих сталей. Химический состав и механические свойства исследованных сталей приведены в табл.1

Табл. 1.

Марка стали	Химический состав, % вес						Механические свойства				
	C	Si	Mn	Cr	V	Другие элементы	σ_B , МПа	δ_5	ψ	КС U, Дж/с	σ_T , МПа
33ХС	0,29-0,37	1,00-1,4	0,3- 0,6	1,3- 1,6	-	<0,035S; <0,035P; <0,30Cu; <0,3 Ni	410	26	25	60	350
08кп	0,07-0,10	0,03-0,07	0,25-0,45	0,08-0,10	-		400	27	60	60	400
25пс	0,22-0,27	0,1-0,3	0,25-0,50	<0,2 5	-		900	13	50	80	700
УЕН-1	0,45-0,55	0,17-0,37	0,25-0,45	0,2- 0,4	0,2- 0,6	0,2-0,7% Ni 0,1-0,3% Ce	950	12	45	90	750
УЕН-2	0,35-0,45	0,17-0,37	0,55-0,99	0,2- 0,4	0,2- 0,6	0,2-0,1% Ni 0,1-0,3% Ce	970	15	40	85	200
УЕН-3	0,40-0,55	0,17-0,37	0,60-0,99	0,2- 0,4	0,2- 0,6	0,1-0,6% Ni 0,3% Ce	1000	18	40	88	800
УЕН-4	0,20-0,35	0,17-0,37	0,65-0,95	0,25-0,45	0,2- 0,6	0,2-0,7% Ni 0,1-0,3% Ce	950	30	45	85	730
УЕН-5	0,08-0,12	0,17-0,37	0,25-0,45	0,2- 0,4	0,2- 0,6	0,2-0,7% Ni 0,1-0,3% Ce	700	32	45	80	580
УЕН-6	0,1-0,14	0,17-0,37	0,25-0,45	0,2- 0,4	0,15-0,55	0,6-0,7% Ni 0,1% Ce	450	28	42	80	400

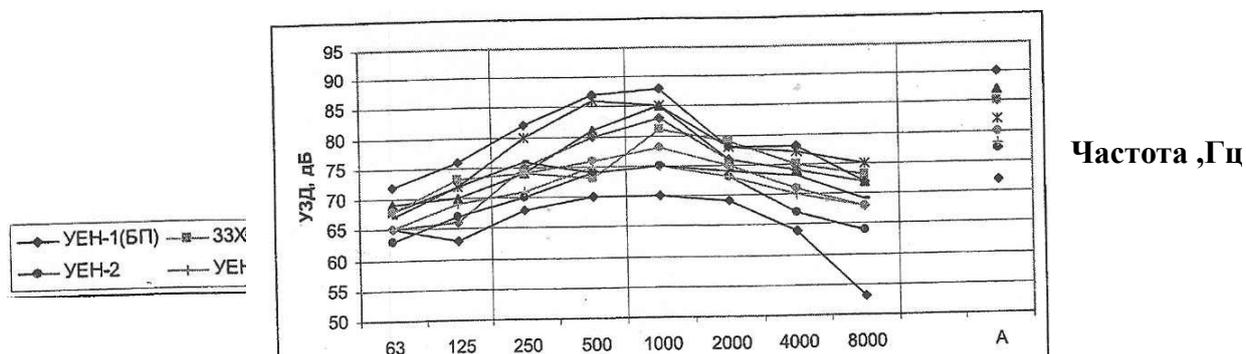
Уровни звука и уровни звукового давления направляющей трубы токарного автомата с шумогасящими элементами из разработанных сплавов в приведены в табл.2

Табл.2.

№	Марка стали штулки	УЗД, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука, ДБА	Примечани е
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
п/п		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	УЕН-1(БП)	65	63	68	70	70	69	64	53	72	БП
2	ззхс	68	73	74	73	81	79	75	73	85	ПР
3	08кп	69	70	74	81	85	76	74	72	87	-/-
4	25пс	65	66	75	80	83	76	74	72	85	-/-
5	УЕН-1	68	72	80	86	85	78	77	75	82	-/-
6	УЕН-2	63	67	70	74	75	73	67	64	77	-/-
7	УЕН-3	65	69	71	75	75	73	70	68	78	-/-
8	УЕН-4	67	72	76	74	75	74	73	69	77	-/-
9	УЕН-5	68	73	74	76	78	75	71	68	80	-/-
10	УЕН-6	72	76	82	87	88	78	78	72	90	-/-

Уровни звука и уровни звукового давления НТГА с демпфирующими элементами из разработанных сплавов приведены на рис.3

Рис.3. Уровни звука



Наименьшая звуковая энергия которая выходит в наружную поверхность трубы соответствует сталям УЕН-2 УЕН-3, УЕН-4, УЕН-5. Т.е эти стали обладают меньшим коэффициентом звукопроводности.

Причиной этого является, что у этих сталей повышенное содержание хрома, никеля и селена по сравнению с другими сталями, как известно хром, никель, селен по сравнению с железом обладают повышенным электрическим сопротивлением, т.е. низкой электропроводностью и низкой концентрацией свободных электронов см. табл.3. [8]

Табл.3.

Свойства	железо	никель	хром	селен
Теплопроводность	74,04вт/(м·к)	90,1вт/(м·к)	67вт/(м·к)	2,344вт/(м·к)
Электропроводность	$9,7 \cdot 10^8$ См·м	$68,4 \cdot 10^9$ См·м	$0,414 \cdot 10^6$ См·м	$10^{-2} - 10^{-12}$ См·м

Теплопроводность и электропроводность сталей обладают аддитивным свойством, т.е. указанные свойства складываются из одноименных свойств компонентов сталей. В указанных сталях теплопроводность и электропроводность снижены за счет снижения массы железа и увеличения массы хрома и селена. Содержания остальных легирующих элементов при прочих равных условиях не изменены. Как видно из табл.3 хром и селен обладают наименьшей электропроводностью и теплопроводностью. Как следовало ожидать при этом звукопроводность резко снижается, так как резко уменьшается концентрация свободных электронов. Из-за снижения звукопроводности микрофон улавливает меньше шума. Кроме этого известно, что селен имеет сродство к электрону, т.е. атомы селена связывают свободные электроны. Из-за этого звукопроводность резко снижается.

Выводы

1. Как, теплопроводность так и звукопроводность металлов связаны с концентрацией свободных электронов в них. С увеличением концентрации свободных электронов, т.е. электронов проводимости электро, тепло и звукопроводность металлов повышаются.
2. Для снижения звукопроводности металлов целесообразно выбрать сталь наибольшим электрическим сопротивлением, т.е. сталь низкой электропроводностью

Список использованной литературы:

1. Савельев И.В. Курс физики. Том 2. –М.: Наука, 1989,- 404с.
2. Корякин Н.И. и др. Краткий справочник по физике.– М. :Высшая школа, 1969, -600
3. Физика металлов. 1.Электроны. под. ред. Дж. Займана. –М.: изд. «Мир», 1972,-444с
4. Смирнов И.А., Томарченко В.И., Электронная теплопроводность в металлах и полупроводниках, -Л.:1977
5. Берман Р., Теплопроводность твердых тел, пер. с. англ. –М.: 1979
6. Григорьев М.А. Материаловедение для столяров, плотников и паркетчиков. – ----- М.:,1989
7. Утепов Е.Н. Разработка демпфирующих материалов и конструкции для снижения шума и вибрации машиностроительного оборудования. Автореферат диссертации на соиск. уч. степ. кандидата техн. наук. Бишкек-2015.-23с.
8. Большая советская энциклопедия. Том.24. 26. 27. –М, изд. Советская энциклопедия. 1975.