

Абдрасилова Ж.Х., Абдурасулов И.А.
ИЗЛУЧЕНИЕ ЗВУКА ПЛАСТИНОЙ
Zh.H. Abdrasilova, I.A. Abdurasulov
THE OF SOUND PLATE

УДК: 628.517.2:669 (043)

Исследовано влияние толщины пластины на эффект звукоизлучения.

Influence of a thickness of a plate on effect of sound generation is investigated.

Использование упрощенной модели в виде пластины размерами 50x50x5 мм для изучения демпфирующих свойств металлических материалов было применено во многих работах. В диапазоне звуковых частот 0,5-16 кГц распределение звуковой энергии в пластине из металлических материалов носит строго определенный характер: большую часть звуковой энергии несут в себе высокочастотные составляющие (уровни звукового давления в диапазоне 8-16 кГц). Для объяснения этой характеристической закономерности была предпринята попытка теоретически обосновать причины интенсивного излучения звука металлическими материалами преимущественно в диапазоне высоких частот. С этой целью были проанализированы значения собственных частот колебаний образцов в виде пластин.

В работе профессора Утепова Е.Б. были определены собственные частоты колебаний для прямоугольной пластины при условии, что толщина ее имеет постоянное значение:

$$f_{m,n} = \frac{\pi^2 h}{2} \sqrt{\frac{E}{3\rho(1-\mu^2)}} \left[\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right], \quad (1)$$

где $f_{m,n}$ – собственная частота;

h – толщина пластины;

E – модуль Юнга;

ρ – плотность материала пластины;

μ – коэффициент Пуассона;

a – длина пластины;

b – ширина пластины;

m, n – число полувольт, которые укладываются в пластине в каждом из направлений.

Низшая частота соответствует случаю, когда пластина изгибается по одной полуволне в каждом направлении ($m=1, n=1$);

$$f_{11} = \frac{\pi^2 h}{2} \sqrt{\frac{E}{3\rho(1-\mu^2)}} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right). \quad (2)$$

Используя формулу (1), рассчитали собственные частоты пластин толщиной 3 и 5 мм табл. 1 и 2.

Используя формулу (1), рассчитали собственные частоты пластин толщиной 3 и 5 мм табл. 1 и 2.

Переменными величинами берем значения числа полувольт в продольном и поперечном направлении. Для пластины толщиной 5 мм число продольных и поперечных полувольт изменялось от 1 до 11 (f_{11} – $f_{11,11}$). Для пластины толщиной 3 мм число полувольт в продольном и поперечном направлении изменялось от 1 до 18 (f_{11} – $f_{18,18}$).

Как следует из табл. 16, для 5 мм образца максимум собственных частот с 4б. приходится на частоту 11297,5 Гц. Число максимальных собственных частот лежит в диапазоне 8000-16000 Гц, что хорошо согласуется с частотной характеристикой данного образца, приведенного на рис 5.23. Подобная закономерность характерна для 5 мм образцов, выполненных из различных марок сталей. Количество собственных частот металлической пластины в области слышимого звука ограничивается 121 частотой, при этом 78 собственных частот приходится на две активные полосы со среднегеометрическими значениями 8000 и 16000 Гц. В отличие от 5 мм образца 3 мм образец имеет 310 собственных частот и максимум приходится на частоту 10733 Гц с суммарным числом полувольт равным 19. С уменьшением толщины пластины число полувольт увеличивается с 11 до 18 в продольном и поперечном направлениях. Многочисленные исследования металлических образцов по использованной в работе методике позволило установить общую закономерность - уровень звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 8000 и 16000 Гц на 10- 20 дБ выше, чем на частотах до 4 кГц. Поэтому общий уровень звука металлических образцов довольно высок 100 дБА и выше, т.е. собственная частота звучания образца совпадает с частотой возбуждающей силы и находится близко к резонансной.

Уменьшение толщины образца от 5 до 3 мм привело к сдвигу максимума уровня звукового давления с 11297 к 10733 Гц. Расчет собственных частот для пластины толщиной 3 мм подтвердил ход экспериментальной кривой. Максимальное число собственных частот приходится на среднегеометрическую частоту 8000 Гц (табл. 2). Определение собственных частот реальной конструкции представляет значительную трудность, т.к. для этого случая характерно бесчисленное множество собственных частот. И тем не менее при анализе можно выявить преобладающие области частот максимального звучания конструкции.

Диагностика производственного шума отдельных агрегатов, устройств металлического оборудования в цехах токарных автоматов позволила выявить, что максимум уровней звукового давления может соответствовать различным октавам среднегеометрических частот. Так, при анализе шумовой обстановки работы токарного полуавтомата оказалось, что наибольший уровень звука, достигающий 110 дБ приходится на среднечастотный уровень (250-1000 Гц). В октавных полосах частот 8000 и 16000 Гц уровень звукового давления на 25 дБ ниже, чем на частоте 4000 Гц. Следовательно, разработанные стали, имеющие собственные частоты в диапазоне 8000-16000 Гц, могут быть рекомендованы для материала направляющих труб токарных автоматов.

Таким образом, в связи с тем, что при моделировании шумовых процессов одним из сложных моментов является трудность учета диссипативных

механизмов протекания процесса в натуре и модели, при исследовании было принято физическое моделирование, т.е. материал натуре и модели идентичны, а излучение шумовых характеристик проводили в диапазоне звуковых частот.

Исследование характеристик шума типовых конструктивных элементов различных геометрических форм при ударном возбуждении позволило определить оптимальные формы этих конструкций для использования в практике борьбы с шумом ударного происхождения.

Так, например, демпфирующие элементы из сплава с высокими демпфирующими свойствами в виде втулок, с разнообразной формой поверхности, обеспечивают разную степень демпфирования при соударениях деталей станка.

Теоретически объяснены причины характерных высокочастотных максимумов уровней звукового давления в диапазоне нормируемых частот опытных сплавов.

Таблица 1

Собственные частоты колебаний прямоугольной пластины толщиной 5 мм

Порядок частот	Число полуволн, f собств.	Число f собств.	Численное значение f собств. Гц
1	2	3	4
1.	f_{11}	1	1882.9
2.	$f_{12} = f_{21}$	2	2824.4
3.	$f_{13} = f_{31} = f_{22}$	3	3765.8
4.	$f_{14} = f_{41} = f_{23} = f_{32}$	4	4707.3
5.	$f_{15} = f_{51} = f_{24} = f_{42} = f_{33}$	5	5648.8
6.	$f_{16} = f_{61} = f_{25} = f_{52} = f_{43} = f_{34}$	6	6590.2
7.	$f_{17} = f_{71} = f_{26} = f_{62} = f_{35} = f_{53} = f_{44}$	7	7531.7
8.	$f_{18} = f_{81} = f_{27} = f_{72} = f_{36} = f_{63} = f_{54} = f_{45}$	8	8473.1
9.	$f_{19} = f_{91} = f_{28} = f_{82} = f_{37} = f_{73} = f_{64} = f_{55}$	9	9414.6
10.	$f_{10} = f_{10,1} = f_{29} = f_{92} = f_{38} = f_{83} = f_{47} = f_{74} = f_{56} = f_{65}$	10	10356.1
11.	$f_{11,1} = f_{11,1} = f_{10,2} = f_{2,10} = f_{3,9} = f_{9,3} = f_{4,8} = f_{8,4} = f_{5,7} = f_{7,5} = f_{6,6}$	11	11297.5
12.	$f_{2,11} = f_{11,2} = f_{3,10} = f_{10,3} = f_{4,9} = f_{9,4} = f_{5,8} = f_{8,5} = f_{7,6} = f_{6,7}$	10	12238.9
13.	$f_{3,11} = f_{11,3} = f_{4,10} = f_{10,4} = f_{5,9} = f_{9,5} = f_{6,8} = f_{8,6} = f_{7,7}$	9	13180.4
14.	$f_{4,11} = f_{11,4} = f_{10,5} = f_{5,10} = f_{6,9} = f_{9,6} = f_{8,7} = f_{7,8}$	8	14121.9
15.	$f_{5,11} = f_{11,5} = f_{6,10} = f_{10,6} = f_{7,9} = f_{9,7} = f_{8,8}$	7	15063.4
16.	$f_{6,11} = f_{11,6} = f_{10,7} = f_{7,10} = f_{9,8} = f_{8,9}$	6	16004.8
17.	$f_{7,11} = f_{11,7} = f_{10,8} = f_{8,10} = f_{9,9}$	5	16946.3
18.	$f_{8,11} = f_{11,8} = f_{10,9} = f_{9,10}$	4	17887.7
19.	$f_{9,11} = f_{11,9} = f_{10,10}$	3	18829.2
20.	$f_{10,11} = f_{11,10}$	2	19770.7
21.	$f_{11,11}$	1	20712.1

Таблица 2.

Собственные частоты колебаний прямоугольной пластины толщиной 3 мм

№ п/п	Число полуволн собственных частот	Кол-во, f	Численное значение f, Гц
1	2	3	4
1	$f_{1,1}$	1	1129.9
2	$f_{1,2} = f_{2,1}$	2	1694.7
3	$f_{1,3} = f_{3,1} = f_{2,2}$	3	2259.6
4	$f_{1,4} = f_{4,1} = f_{2,3} = f_{3,2}$	4	2824.5
5	$f_{1,5} = f_{5,1} = f_{2,4} = f_{4,2} = f_{3,3}$	5	3389.4
6	$f_{1,6} = f_{6,1} = f_{2,5} = f_{5,2} = f_{3,4} = f_{4,3}$	6	3954.3
7	$f_{1,7} = f_{7,1} = f_{2,6} = f_{6,2} = f_{3,5} = f_{5,3} = f_{4,4}$	7	4519.2
8	$f_{1,8} = f_{8,1} = f_{2,7} = f_{7,2} = f_{3,6} = f_{6,3} = f_{4,5} = f_{5,4}$	8	5084.1
9	$f_{1,9} = f_{9,1} = f_{2,8} = f_{8,2} = f_{3,7} = f_{7,3} = f_{4,6} = f_{6,4} = f_{5,5} = f_{7,3}$	9	5649.0

10	$f_{1,10} - f_{10,1} = f_{2,9} - f_{9,2} = f_{3,8} - f_{8,3} = f_{4,7} - f_{7,4} = f_{5,6} - f_{6,5}$	10	6213.9
11	$f_{1,11} - f_{11,1} = f_{2,10} - f_{10,2} = f_{3,9} - f_{9,3} = f_{4,8} - f_{8,4} = f_{5,7} - f_{7,5} = f_{6,6}$	11	6778.8
12	$f_{1,12} - f_{12,1} = f_{2,11} - f_{11,2} = f_{3,10} - f_{10,3} = f_{4,9} - f_{9,4} = f_{5,8} - f_{8,5} = f_{6,7} - f_{7,6}$	12	7343.7
13	$f_{1,13} - f_{13,1} = f_{2,12} - f_{12,2} = f_{3,11} - f_{11,3} = f_{4,10} - f_{10,4} = f_{5,9} - f_{9,5} = f_{6,8} - f_{8,6} = f_{7,7}$	13	7908.6
14	$f_{1,14} - f_{14,1} = f_{2,13} - f_{13,2} = f_{3,12} - f_{12,3} = f_{4,11} - f_{11,4} = f_{5,10} - f_{10,5} = f_{6,9} - f_{9,6} = f_{7,8} - f_{8,7}$	14	8473.5
15	$f_{1,15} - f_{15,1} = f_{2,14} - f_{14,2} = f_{3,13} - f_{13,3} = f_{4,12} - f_{12,4} = f_{5,11} - f_{11,5} = f_{6,10} - f_{10,6} = f_{7,9} - f_{9,7} = f_{8,8}$	15	9038.4
16	$f_{1,16} - f_{16,1} = f_{2,15} - f_{15,2} = f_{3,14} - f_{14,3} = f_{4,13} - f_{13,4} = f_{5,12} - f_{12,5} = f_{6,11} - f_{11,6} = f_{7,10} - f_{10,7} = f_{8,9} - f_{9,8} = f_{9,9}$	16	9603.3
17	$f_{1,17} - f_{17,1} = f_{2,16} - f_{16,2} = f_{3,15} - f_{15,3} = f_{4,14} - f_{14,4} = f_{5,13} - f_{13,5} = f_{6,12} - f_{12,6} = f_{7,11} - f_{11,7} = f_{8,10} - f_{10,8} = f_{9,9} = f_{10,10}$	17	10168.2
18	$f_{1,18} - f_{18,1} = f_{2,17} - f_{17,2} = f_{3,16} - f_{16,3} = f_{4,15} - f_{15,4} = f_{5,14} - f_{14,5} = f_{6,13} - f_{13,6} = f_{7,12} - f_{12,7} = f_{8,11} - f_{11,8} = f_{9,10} - f_{10,9} = f_{10,10}$	18	10733.1
19	$f_{2,18} - f_{18,2} = f_{3,17} - f_{17,3} = f_{4,16} - f_{16,4} = f_{5,15} - f_{15,5} = f_{6,14} - f_{14,6} = f_{7,13} - f_{13,7} = f_{8,12} - f_{12,8} = f_{9,11} - f_{11,9} = f_{10,10}$	17	11298.0
20	$f_{3,18} - f_{18,3} = f_{4,17} - f_{17,4} = f_{5,16} - f_{16,5} = f_{6,15} - f_{15,6} = f_{7,14} - f_{14,7} = f_{8,13} - f_{13,8} = f_{9,12} - f_{12,9} = f_{10,11} - f_{11,10}$	16	11862.0
21	$f_{4,18} - f_{18,4} = f_{5,17} - f_{17,5} = f_{6,16} - f_{16,6} = f_{7,15} - f_{15,7} = f_{8,14} - f_{14,8} = f_{9,13} - f_{13,9} = f_{10,12} - f_{12,10} = f_{11,11}$	15	12427.8
22	$f_{5,18} - f_{18,5} = f_{6,17} - f_{17,6} = f_{7,16} - f_{16,7} = f_{8,15} - f_{15,8} = f_{9,14} - f_{14,9} = f_{10,13} - f_{13,10} = f_{11,12} - f_{12,11} = f_{12,12}$	14	12992.7
23	$f_{6,18} - f_{18,6} = f_{7,17} - f_{17,7} = f_{8,16} - f_{16,8} = f_{9,15} - f_{15,9} = f_{10,14} - f_{14,10} = f_{11,13} - f_{13,11} = f_{12,12}$	13	13557.7
24	$f_{7,18} - f_{18,7} = f_{8,17} - f_{17,8} = f_{9,16} - f_{16,9} = f_{10,15} - f_{15,10} = f_{11,14} - f_{14,11} = f_{12,13} - f_{13,12} = f_{13,13}$	12	141122.5
25	$f_{8,18} - f_{18,8} = f_{9,17} - f_{17,9} = f_{10,16} - f_{16,10} = f_{11,15} - f_{15,11} = f_{12,14} - f_{14,12} = f_{13,13}$	11	14687.4
26	$f_{9,18} - f_{18,9} = f_{10,17} - f_{17,10} = f_{11,16} - f_{16,11} = f_{12,15} - f_{15,12} = f_{13,14} - f_{14,13} = f_{14,14}$	10	15252.3
27	$f_{10,18} - f_{18,10} = f_{11,17} - f_{17,11} = f_{12,16} - f_{16,12} = f_{13,15} - f_{15,13} = f_{14,14}$	9	15817.2
28	$f_{11,18} - f_{18,11} = f_{12,17} - f_{17,12} = f_{13,16} - f_{16,13} = f_{14,15}$	8	16382.1
29	$f_{12,18} - f_{18,12} = f_{13,17} - f_{17,13} = f_{14,16} - f_{16,14} = f_{15,15}$	7	16947.0
30	$f_{13,18} - f_{18,13} = f_{14,17} - f_{17,14} = f_{15,16} = f_{15,16}$	6	17511.9
31	$f_{14,18} - f_{18,14} = f_{15,17} = f_{17,15} = f_{16,16}$	5	18076.8
32	$f_{15,18} - f_{18,15} = f_{16,17} = f_{17,16}$	4	18641.7
33	$f_{16,18} - f_{18,16} = f_{17,17}$	3	19206.6
34	$f_{17,18} - f_{18,17}$	2	19771.5
35	$f_{18,18}$	1	20336.4

С уменьшением толщины пластины число полуволн увеличивается с 11 до 18 в продольном и поперечном направлениях. Многочисленные исследования металлических образцов по использованной в работе методике позволили установить общую закономерность - звуковое давление в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 8000 и 16000 Гц на 10-20 дБ выше, чем на частотах до 4 кГц. Поэтому общий уровень звука металлических образцов довольно высок - 100 дБА и выше, т.е. собственная частота звучания образца совпадает с частотой возбуждающей силы и находится близко к резонансной.

Уменьшение толщины образца от 5 до 3 мм привело к сдвигу максимума уровня звукового давления с 11279 к 10733 Гц. Расчет собственных частот для пластин толщиной 3 мм подтвердил ход экспериментальной кривой. Максимальное число собственных частот приходится на среднегеометрическую частоту 8000 Гц (табл. 2). Определение собственных частот реальной конструкции представляет значительную трудность, т.к. для этого случая характерно бесчисленное множество собственных частот. И, тем не менее, при анализе можно выявить преобладающие области частот максимального звучания конструкции.

Диагностика производственного шума отдельных агрегатов, устройств металлургического оборудования в листопрокатных цехах позволило выявить, что максимум уровней звукового давления может соответствовать различным октавам среднегеометрических частот. Так, при анализе шумовой обстановки работы торцевого упора листоукладчика оказалось, что наибольший уровень звука, достигающий 115 дБ приходится на среднечастотный уровень (500-2000 Гц). В октавных полосах частот 8000 и 16000 Гц уровень звукового давления на 30 дБ ниже, чем на частоте 4000 Гц. Следовательно, разработанные стали, имеющие собственные частоты в диапазоне 8000-16000 Гц могут быть рекомендованы для материала торцевого упора листоукладчика.

Таким образом, в связи с тем, что при моделировании шумовых процессов одним из сложных моментов является трудность учета диссипативных механизмов протекания процессов в натуре и в модели, при исследовании было принято физическое моделирование, т.е. материал натуре и модели идентичен, а изучение шумовых характеристик проводили в диапазоне звуковых частот.

Исследования характеристик шума типовых конструктивных элементов различных геометрических форм при ударном возбуждении позволили определить оптимальные формы этих конструкций для использования в практике борьбы с шумом ударного происхождения.

Теоретически объяснены причины характерных высокочастотных максимумов уровней звукового давления в диапазоне нормируемых частот опытных сплавов.

Излучение звука при соударении шара и пластины имеет много неясностей.

Область пластины, в которой каждый максимум звукового давления следует за минимумом звукового давления, звука не излучает. Только концы пластины и ее ребра, в которых такое равновесие нарушено, излучают звуковую энергию.

Критические частоты пластины разной толщины, излучающей шум удара, представлены в табл.3.

Таблица 3.

Критические частоты пластины разной толщины, излучающей шум удара

Толщина пластины, мм	Критическая частота, Гц
2	6000
3	4000
4	3000
6	2000
8	1500
10	1200
12	1000
14	860
16	750

В бесконечной пластине каждый максимум и минимум звукового давления взаимодействуют с бесконечным числом максимумов и минимумов звукового давления с различными фазами и расстояниями, так что общее воздействие всех участков на отдельный участок можно условно заменить воздействием только соседнего одинакового по площади и противофазового участка.

В пластине конечных размеров (50x50x5 мм) такая замена уже некорректна, т.к. поверхность ее всегда способствует излучению звука.

Одним из методов снижения Шума является изменение критической частоты за счет изменения толщины стальной пластины.

Заключение: Исследовано влияние толщины пластины на эффект звукоизлучения.

Рецензент: д. т.н. Осмонов К.А.
