

Уменов Е.Н.

**МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ДЕМПФИРУЮЩИЕ СПЛАВЫ,
ЛЕГИРОВАННЫЕ ХРОМОМ И КРЕМНИЕМ**

Е.Н. Утепов

**ENGINEERING DAMPENS THE ALLOYS DOPED WITH
CHROMIUM AND SILICON**

УДК:628.517

В работе исследованы демпфирующие сплавы легированные хромом и кремнием. На некоторых образцах имелось нанопокрывтие. Исследовались звукоизлучения сплавов.

Damping properties of alloys are in-process investigation, by the alloyed chrome and silicon. Studied the sound radiation of copper, one of the samples was with nanostructure coating

Современное производство характеризуется различными вредностями и опасностями, порождаемые технологическими процессами и работающим оборудованием. Одним из сопутствующих вредных факторов производства являются шум и вибрация. Производственный шум генерируется соударяющимися деталями оборудования, движением обрабатываемого материала и др., из-за чего создается акустический дискомфорт на рабочем месте, вызывающий ухудшение условий труда и падение производительности работника.

Промышленное оборудование изготавливается из сталей и сплавов, характеризующихся комплексом физико-механических характеристик. Эти физико-механические характеристики оценивают прочностные, пластические свойства сталей и сплавов, но недостаточны для оценки шумовых и вибрационных свойств. Для конструкторов и технологов ощущается дефицит сведений по акустическим и демпфирующим характеристикам сталей и сплавов, используемых для деталей промышленного оборудования. Для валов коробок скоростей, балансиров, клапанов двигателей, валов муфт сцепления используются стали 33ХС, 38ХС, 40ХС. При работе вышеуказанных деталей и узлов из сталей 33ХС, 38ХС, 40ХС излучается интенсивный шум и вибрация. Одним из эффективных способов снижения шума соударений яв-

ляется использование демпфирующих сплавов, которые обеспечивают снижение шума в источнике возникновения, создают акустический комфорт на рабочем месте. До сих пор неизвестно применение демпфирующих сплавов для замены сталей 33ХС, 38ХС, 40ХС. Применение других методов снижения шума (звукоизоляция, звукопоглощение, индивидуальные средства защиты) для вышеуказанных деталей узлов неэффективно из-за загромождения рабочего пространства (звукоизоляция, звукопоглощение), повышения пожароопасности и запыленности (звукопоглощение), маскирования предупреждающих сигналов (использования индивидуальных средств защиты).

Целью работы является разработка новых хромокремнистых сталей, обладающих повышенными демпфирующими свойствами, использование которых обеспечит снижение производственного шума и создание акустического комфорта.

В качестве объекта исследования были выбраны хромокремнистые стали (стандартные: 33ХС, 38ХС, 40ХС; а также выплавленные: 1, 2, 3). Исследовали акустические (уровень звука, уровень звукового давления) и вибрационные (уровень виброускорения, общий уровень виброускорения) характеристики сплавов. Назначение сталей и общая характеристика приведены в таблице 1. Механические свойства и химический состав исследованных сталей приведены в таблицах 2 и 3.

Одной из поставленных задач данной работы является разработка новых демпфирующих металлических материалов на основе железа. В связи с этим, путем добавления легирующих элементов (хрома, кремния, иттрия, никеля) в химический состав стандартных сталей, были получены новые стали с повышенными демпфирующими свойствами.

Таблица 1

Назначение и общая характеристика сталей

Сталь	Назначение
33ХС	Стали применяются для деталей пружинного типа сравнительно небольших сечений: шайбы Бельвиля, диски трения, торсионные валы. Кроме того, валы муфт сцепления рычаги переключения передач, валы коробок скоростей, балансиры, выпускные клапаны тракторных двигателей
38ХС	
40ХС	

Таблица 2

Механические свойства сталей

Сталь	Режим термообработки (t, °С)	σ_r	σ_b	σ_s	φ	a_n	НВ после отжига
		МПа		%		Дж/см ²	
		не менее					

ззхс	3, 920, в или м + Ов, 630, в или м	700	900	13	50	80	41
38ХС	3, 900, м + Ов, 630, м	750	950	12	40	70	255
40ХС	3, 900, м + Ов, 540, м	1100	1250			35	
	Зизо, 900-910, селитра 300-350, возд.					50	
1	3, 900, м + Ов, 630, м	760	910	13	50	75	285
2	3, 900, м + Ов, 630, м	750	930	13	45	80	250
3	3, 900, м + Ов, 630, м	850	980	14	40	50	260

Примечание.
1 кгс/мм² ~ 10 МПа; 1 кгс/см²= 10 Дж/см².

Таблица 3

Химический состав исследованных сталей

№	Сталь	с	Si	Мп	Сг	Ni	Y	НСП, м
1	ЗЗХС	0,29-0,37	1,00-1,4	0,3-0,6	1,3-1,6	0,3		
2	38ХС	0,34-0,42	1,0-1,4	0,3-0,6	1,3-1,6	0,3	-	
3	40ХС	0,37-0,45	1,2-1,6	0,3-0,6	1,3-1,6	0,3	-	
4	1	0,37	1,20	0,45	1,45	0,5	0,15	
5	2	0,33	1,30	0,35	1,55	0,6	0,61	
6	3	0,44	1,35	0,50	1,45	0,45	0,16	
7	ЗЗХС(НС)	0,29-0,37	1,00-1,4	0,3-0,7	1,3-1,6	0,3	-	2э10 ¹⁷
8	З(НС)	0,40	1,35	0,50	1,45	0,45	0,16	2эЮ ¹⁷

НСП - наноструктурное покрытие на поверхности образцов.

На основе анализа установок для исследования акустических (уровень звука, уровень звукового давления) и вибрационных (уровень виброускорения, общий уровень виброускорения) свойств сталей было выбрано устройство для комплексного исследования акустических и вибрационных свойств пластинчатых и трубчатых образцов сталей с последующей модернизацией [1].

Установка работает следующим образом. Шар-ударник 6 устанавливался на наклонной плоскости 5. Шар-ударник 6 скатывается с наклонной плоскости 5 и совершает свободное падение в геометрический центр пластинчатого образца 3. Шар-ударник 6 отскакивает от него и попадает в приемник шаров 11. Шум от соударения шара-ударника 6 и образца 3 фиксируется шумомером «ОКТАВА-Ю1А» 12. Образец (пластинчатый) 3, колеблющийся в переплетении капроновых нитей 1 создает вибрацию, которая оценивается прибором модели 2204 фирмы «Briel&Kjerg» 8. Натяжение образца капроновыми нитями 1 всегда постоянно, так как груз 10 контролирует это натяжение. Высота падения шара может изменяться с помощью винта крепления стойки ударника 15. Вся система крепления образца 3 и шара-ударника 6 установлена на раме 2, которая с помощью стоек 13 находится на определенной высоте над полом.

При измерениях были использованы стальные (ШХ15) шары-ударники следующих диаметров: 9,5 мм; 12,7 мм; 15,2 мм; 18,3 мм (масса шаров-ударников соответственно: 2,5 г; 5 г; 9 г и 25 г).

На установке исследовали стальные пластинчатые образцы (50x50x5) мм.

Масса шара, плотность образца, расстояния от точки соударения до образца, толщина образца взаимосвязаны по формуле:

$$m < 4,6 \cdot p \cdot l \cdot h^2 \quad (1)$$

где m - масса пластины-образца, г;

p - плотность материала пластины-образца, г/см³;

l - расстояние от точки соударения до ближайшего края пластины-образца, см;

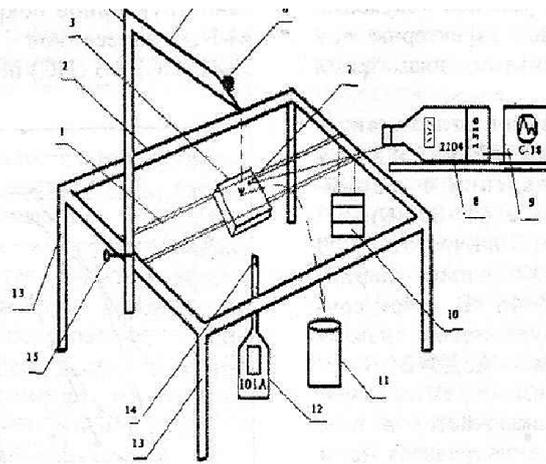
h - толщина пластины-образца, см.

При этом ширина и длина пластины-образца должны быть не менее чем в 5 раз больше его толщины. Исследуемая пластина размерами 50x50x5 мм удовлетворяет этим требованиям.

Уровни звукового давления исследовали в октавных полосах частот в диапазоне 31,5-31500 Гц, уровни виброускорения в диапазоне 31,5-31500 Гц. Уровень звука - по шкале «А», общий уровень виброускорения - по характеристике «Lin».

Звуковой генератор ЗГ-10 использовали для калибровки производимых измерений звукового сигнала. Поправку на изменение звукового сигнала от атмосферного давления осуществляли при помощи пистонфона марки PF-101. Температура воздуха и влажность в лаборатории поддерживались постоянными. Акустические измерения находили как среднее значение пяти измерений.

Проводили также математическую обработку результатов эксперимента и определение доверительных интервалов в соответствии с методикой [2]. Перед началом работы настройку измерительного тракта осуществляли проверкой уровней звукового давления эталонного образца.



1 - капроновые нити; 2 - рама; 3 - пластинчатый (50x50x5 мм) образец; 4 - стойка рамы; 5 - наклонная плоскость; 6 - шар-ударник; 7 - вибродатчик шумомера фирмы «Bruel & Kjaer»; 8 - шумомер фирмы «Bruel & Kjaer» модели 2204 с октавным фильтром модели 1613; 9 - осциллограф С-18; 10 - груз; 11 - приемник шаров; 12 - шумомер «Октава 101 А»; 13 - стойки рамы; 14 - микрофон шумомера «Октава 101 А»; 15 - винт крепления стойки ударника

Рис. 1 - Устройство для комплексного исследования акустических и вибрационных свойств твердых образцов. Акустические характеристики исследованных стандартных (пластины размером 50x50x5 мм) сталей 33ХС, 38ХС, 40ХС, 33ХС(НС) и разработанных демпфирующих сталей 1, 2, 3 и 3(НС) представлены в таблицах 4 и 5 и на рисунках 2-10.

В таблице 4 представлены акустические характеристики стандартных хромокремнистых сталей 33ХС, 38ХС, 40ХС и 33ХС(НС). НС - означает наноструктурное покрытие.

Таблица 4

Акустические характеристики стандартных хромокремнистых сталей 33ХС, 38ХС, 40ХС и 33ХС (НС)

№ п/п	Марка стали	Диаметр шара-ударника, d, мм	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						УЗ, дБА
			1000	2000	4000	8000	16000	31500	
1	1	3	4	5	6	7	8	9	10
1	33ХС	9,5	42	47	64	61	53	47	65
		12,7	46	51	63	64	64	43	67
		15,2	44	66	73	73	65	45	74
		18,3	53	66	76	75	64	64	79
2	38ХС	9,5	46	49	66	64	57	49	69
		12,7	54	53	67	66	67	48	70
		15,2	47	68	74	72	62	48	76
		18,3	56	67	76	75	67	61	79
3	40ХС	9,5	48	51	68	67	63	53	69
		12,7	57	58	67	67	66	53	72
		35,2	54	67	73	76	61	54	78
		18,3	56	69	76	77	63	56	80
4	33ХС(НС)	9,5	43	48	61	60	54	47	62
		12,7	45	52	62	61	61	44	64
		15,2	45	65	70	71	64	46	71
		38,3	52	64	73	71	65	65	75

Результаты экспериментов (рисунок 2) и характер кривых уровней звуковых давлений имеют следующий вид:

- уровни звуковых давлений исследованных образцов изменяются в диапазоне 42-80 дБ;
- максимумы уровней звуковых давлений наблюдаются на частотах 4000 Гц и 8000 Гц (75-77 дБ);
- минимумы уровней звуковых давлений образцов характерны для частот 1000-31 500 Гц (41-45 дБ);

- максимальные значения уровней звуковых давлений сравниваемых образцов характерны при соударениях с шаром-ударником диаметром d=18,3 мм;
- минимальные значения уровней звуковых давлений сравниваемых образцов характерны при соударениях с шарами-ударниками диаметрами d=9,5 мм и d=15,2 мм;

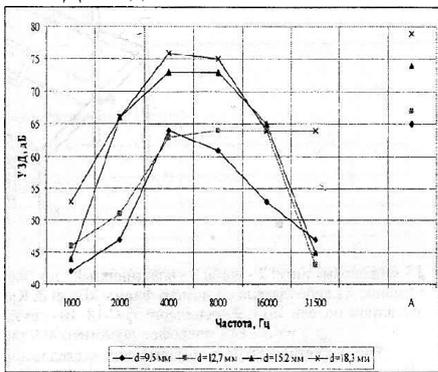
- максимумы уровней звуков по характеристике «А» образцов сталей 33ХС, 38ХС и 40ХС наблюдаются при соударении с шаром-ударником диаметром d=18,3 мм (79-80 дБ);

В соответствии с рисунком 2 на частоте 1000 Гц при соударении образца 33ХС шаром-ударником диаметром $d=12,7$ мм УЗД=46 дБ, а при соударении образца 33ХС шаром-ударником диаметром $d=15,2$ мм УЗД=44 дБ. Эффект АЗДЗ=2 дБ.

Эффект амплитудно-зависимого демпфирования звукоизлучения (АЗДЗ) заключается в том, что при более сильном ударе излучается шум пониженного уровня, это вызвано повышенной диссипацией звуковой энергии при соударении.

На частоте 2000 Гц при соударении образца 33ХС шаром-ударником диаметром $d=15,2$ мм УЗД=66 дБ, а при соударении образца 33ХС шаром-ударником диаметром $d=18,3$ мм УЗД=66 дБ. Эффект АЗДЗ=0 дБ.

На частоте 4000 Гц при соударении образца 33ХС шаром-ударником диаметром $d=9,5$ мм УЗД=64 дБ, а при соударении образца 33ХС шаром-ударником диаметром $d=12,7$ мм УЗД=63 дБ. Эффект АЗДЗ=1 дБ.



($d=9,5 \div 18,3$ мм) – диаметры ударников шаров

Рис. 2 - Характеристики звукоизлучения стали 33ХС при соударении

На частоте 16000 Гц при соударении образца 33ХС шаром-ударником диаметром $d=15,2$ мм УЗД=65 дБ, а при соударении образца 33ХС шаром-ударником диаметром $d=18,3$ мм УЗД=64 дБ. Эффект АЗДЗ=Т дБ.

На частоте 31500 Гц при соударении образца 33ХС шаром-ударником диаметром $d=9,5$ мм УЗД=47 дБ, а при соударении образца 33ХС шаром-ударником диаметром $d=12,7$ мм УЗД=43 дБ. Эффект АЗДЗ=4 дБ.

На рис. 3 представлено многослойное наноструктурное покрытие на основе системы Ti-Al-N, нанесенное на испытываемые образцы 33ХС(НС) и 3 (НС) по методике [3]

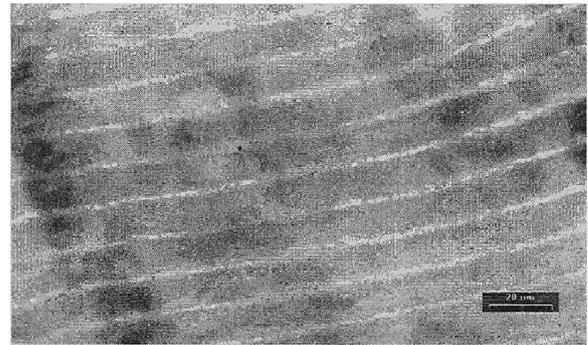


Рис.3 - Электронно-сканирующий снимок многослойного покрытия на основе системы Ti-Al-N

В таблице 5 представлены акустические характеристики образцов разработанных из хромокремнистых сталей при соударении с шарами-ударниками разных диаметров.

Акустические характеристики образцов разработанных хромокремнистых сталей при соударении с шарами-ударниками

№ п/п	Марка сталей	Диаметр шара-ударника, d, мм	Уровни звуковых давлений, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						УЗ, дБА
			1000	2000	4000	8000	16000	31500	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	9,5	43	48	55	60	57	41	62
		12,7	49	55	60	70	61	43	70
		15,2	51	58	62	74	61	52	72
		18,3	55	64	65	75	69	60	78
2	2	9,5	42	52	58	62	57	48	64
		12,7	55	56	63	67	62	47	69
		15,2	52	59	64	71	78	52	72
		18,3	54	53	62	67	75	65	75
3	3	9,5	49	51	52	54	51	52	52
		12,7	57	56	61	70	70	54	72
		15,2	50	59	65	76	68	55	76
		18,3	55	60	64	77	66	58	78
4	3(НС)	9,5	48	48	49	50	49	49	50
		12,7	58	55	62	68	68	55	70
		15,2	51	58	65	71	69	56	73
		18,3	57	61	63	74	67	59	74

Работа содержит новые научно обоснованные результаты экспериментальных исследований по оценке акустических свойств сплавов на основе железа, использование которых обеспечит решение актуальной задачи по созданию акустического комфорта на рабочих местах.

Основные научные результаты, выводы и практические рекомендации, полученные при проведении исследований, заключаются в следующем.

Одним из самых перспективных методов борьбы с производственным шумом является снижение шума в источнике возникновения с применением новых высокодемпфирующих материалов. В качестве высокодемпфирующих сплавов можно применить хромкремнистые стали, которые нашли широкое применение в отраслях промышленности.

Разработаны новые демпфирующие металлические материалы на основе железа. Объектом исследования были выбраны как стандартные марки хромкремнистых сталей 33ХС, 38ХС, 40ХС, так и новые, выплавленные хромкремнистые стали, такие как 1, 2 и 3, легированные хромом, кремнием, никелем, иттрием.

Разработаны хромкремнистые стали 33ХС(НС) и 3(НС) с нанесенными наноструктурными покры-

тиями (Ti-Al-N), обеспечившее повышенное демпфирование.

Источниками затухания колебаний в сталях 33ХС, 38ХС, 40ХС, 33ХС(НС), 1, 2 и 3, 3(НС) в амплитудно-зависимой области являются упругое двойникование, бездиффузионное обратимое фазовое превращение (мартенситное превращение) и магнитно-упругое рассеяние энергии.

Амплитуднозависимое демпфирование звукоизлучения (АЗДЗ), заключающееся в неадекватном излучении шума при соударениях шарами – ударниками наблюдается у большинства исследованных сталей и объясняется повышенной диссипацией наноструктурного многослойного покрытия, дислокационным демпфированием и магнито-механическим эффектом.

Использованная литература:

1. Акустическая экология: Демпфирующие материалы и конструкции. Утепов Е.Б., Сулеев Д.К., Бисакаев С.Г. и др. - Алматы 2001 г. 332 стр.
2. Больше Л.Н., Смирнов К.В. Таблицы математической статистики - М.: Наука, 1968 - 464 с.
3. Утепов Т.Е. Разработка вибродемпфирующих металлических материалов на основе железа для снижения производственного шума - Алматы 2012, 252 стр.

Рецензент: д.т.н., профессор Долгов П.В.