

Г.А. Буршукова*, Р.Ж. Абуова, А.Е. Канажанов
 Satbayev University, Алматы, Казахстан
 *e-mail: gzzi@mail.ru

Исследование вибрационных и акустических характеристик сплавов на основе железа

Аннотация: Статья посвящена актуальной проблеме создания демпфирующих сталей с наноструктурным покрытием. Объектом исследования являются стали, используемые для изготовления зубчатых колес, венцов, полумуфт, шестерен и генерирующие шум, создающий акустический дискомфорт. Основная идея работы заключается в оценке акустических, вибрационных, физико-механических и демпфирующих свойств сталей, получении сталей с наноструктурным покрытием с повышенными демпфирующими свойствами, обеспечивающие снижение шума и вибрации. В процессе работы были исследованы акустические (уровень звука, уровень звукового давления) характеристики сплавов. По итогам проведенных работ разработаны новые демпфирующие металлические материалы на основе железа.

Ключевые слова: сплавы, покрытие, демпфирование, соударения, шум, вибрация.

Введение. Шум ударного происхождения является наиболее распространенным и вредным производственным фактором [1].

В автомобильной промышленности одним из важных вопросов исследования является комплексный анализ виброакустических и прочностных характеристик. Для оценки и анализа виброакустических и прочностных характеристик используют такие понятия как – шум, вибрация, жесткость [2].

Проводимые исследования для снижения шума и вибраций включает в себя – борьбу в источнике возникновения и на пути их распространения.

Самым эффективным способом шумоподавления является снижение уровня шума в источнике его возникновения, применяя материалы с высокими демпфирующими свойствами.

Методы. В качестве объектов исследования выбраны стандартные 30Л, 40Л, 50Л и выплавленные на их основе стали – МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3. Назначение и общая характеристика стандартных сталей приведена в таблице 1.

Таблица 1. Назначение и общая характеристика сталей [3]

Сталь	Назначение
30Л, 40Л, 50Л	Зубчатые колеса и муфты подъемно-транспортных машин, ходовые колеса, бегунки, зубчатые сектора и венцы, полумуфты, скаты, тормозные диски разливочных машин, втулки зубчатых муфт и другие детали, к которым предъявляются требования повышенной твердости.

Имея существующие данные о влиянии химического состава сплавов на демпфирующие свойства, можно сделать вывод о возможности разработки металлических материалов с высоким уровнем демпфирующих свойств. Принципы легирования сплавов в работе основаны на изучении диаграмм состояния Fe-C, Fe-Cr, Fe-Ni; Fe-Si; Fe-Se. Диаграммы состояния определяют в условиях равновесия фазовый состав сплава в зависимости от температуры и концентрации компонентов [4]. Данные о химическом составе сплавов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики стандартных и выплавленных сплавов

№ п/п	Марка стали	Химический состав сталей, %вес					
		C	Si	Mn	Cr	Ni	PЗМ
1	30Л	0,27-0,35	0,2-0,52	0,4-0,9	-	-	-
2	40Л	0,37-0,45	0,2-0,52	0,45-0,9	-	-	-
3	50Л	0,47-0,55	0,2-0,52	0,45-0,90	-	-	-
4	МБГ-1	0,42	0,25	0,45-0,50	0,35	≤0,45	(0,03)Ce
5	МБГ-2	0,48	0,30	0,40-0,48	0,55	0,6-0,9	(0,05)Ce
6	МБГ-3 (НСП)	0,51	0,38	0,50-0,53	0,65	0,7-1,0	(0,08)Ce

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 [5].

Исследование представляло собой возбуждение механическими ударами стальной пластины, у каждой из них разный уровень демпфирования. Возникающий звук измеряли шумомером «Октава 101А», а его сигнал регистрировался на осциллографе. Акустические измерения находили как среднее значение пяти измерений.

Также, при изучении производимого шума использовался анализатор спектра 1-класса точности Ассистент SI.

Звуковой импульс фиксировали микрофонным капсюлем МК-102. Этот импульс преобразуется в электрический сигнал, усиливается предусилителем МК-102 и подается на вход точного импульсного шумомера 00017 фирмы RFT (Германия) или шумомера «Октава-101А» (РФ). Индикатор шумомера позволяет регистрировать уровни звукового давления от 30 до 130 дБ с точностью до 0,5 дБА.

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».

Определение механических характеристик разработанных сплавов проводили стандартными методами [4, 7].

Исследования в области разработки износостойких покрытий на рабочих поверхностях исследуемых образцов показали, что многокомпонентные покрытия на основе нитридов имеют более высокие эксплуатационные характеристики по сравнению с однокомпонентными.

Указанные покрытия обладают более высокими упругими характеристиками и, как следствие, более высоким сопротивлением пластической деформации. Введение в состав покрытий на основе мононитридов дополнительных элементов способствует повышению уровня микродеформаций, измельчению размера кристаллитов, и может явиться одним из способов получения материала покрытия, характеризующегося сочетанием высоких значений твердости и вязкости [12].

Для этой цели разработан сплав с наноструктурным покрытием МБГ-3(НСП).

Наноструктурное покрытие образовывали известным методом PVD, основанный на генерации вещества в вакуумное пространство камеры с подачей реакционного газа (N₂, O₂, CH₄ и др.). Различие технологий PVD состоит в принципах генерации вещества, различной степени ионизации паро-ионного потока, конструкциях и технологических особенностях установок. Наибольшее применение в практике производства инструмента покрытием нашли системы низковольтного вакуумно-дугового испарения, получившие наименование arc-PVD (КИБ). Преимуществом КИБ считают достаточно скоростные действия испаряемого вещества [6].

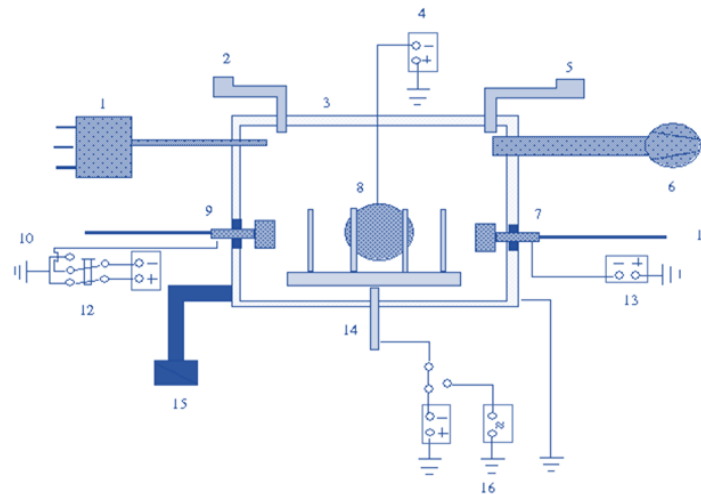


Рис. 1. Устройство для нанесения наноструктурного покрытия

1 – газосмеситель; 2 – вакуумметр; 3 – камера установки; 4 – источник электропитания ускорителя-сепаратора; 5 – система контроля температуры; 6 – вакуумная система; 7, 9 – дуговые испарители; 8 – источник сепарированной плазмы; 10, 11 – системы охлаждения испарителей; 12, 13 – источники электропитания испарителей; 14 – поворотный стол для размещения инструмента; 15 – система нагрева и охлаждения камеры; 16 – источник импульсной подачи напряжения смещения на инструмент

Покрытия наносились посредством 3 испарительных катодов с сепараторами капельной фазы в атмосфере реакционного газа – азота ($P_{N_2} = 3 \cdot 10^{-3}$ Па). Получены многокомпонентные покрытия Ti-Al-N с размером кристаллитов от 10 до 100 нм. Изучение морфологии и состава образцов осуществлялось с применением полевого растрового электронного микроскопа JSM-6700F с приставкой для энергодисперсионной спектроскопии JED-2300F фирмы «JEOL», Япония.

Результаты исследований. В таблицах 3-8 представлены вибрационные и акустические характеристики образцов (пластины размером 50x50x5 мм) из сталей 30Л, 40Л, 50Л и МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3(НСП), после соударения с шарами-ударниками диаметрами $d=7$ мм, $d=8$ мм, $d=9$ мм и $d=11$ мм.

В таблице 3 представлены акустические характеристики образцов стандартных при соударении с шарами-ударниками разных диаметров.

Таблица 3. Акустические характеристики сталей 30Л, 40Л, 50Л

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	
30Л	7	43	51	57	63	62	53	67
	8	57	60	63	73	68	58	76
	9	55	67	70	73	67	63	75
	11	63	64	67	74	73	70	86
40Л	7	46	58	62	64	60	55	69
	8	61	61	65	71	68	60	76
	9	60	63	67	73	81	60	77
	11	61	60	65	77	80	71	81
50Л	7	43	46	50	58	56	53	56
	8	62	63	67	77	77	63	78
	9	61	65	70	77	74	65	82
	11	63	66	71	81	71	65	83

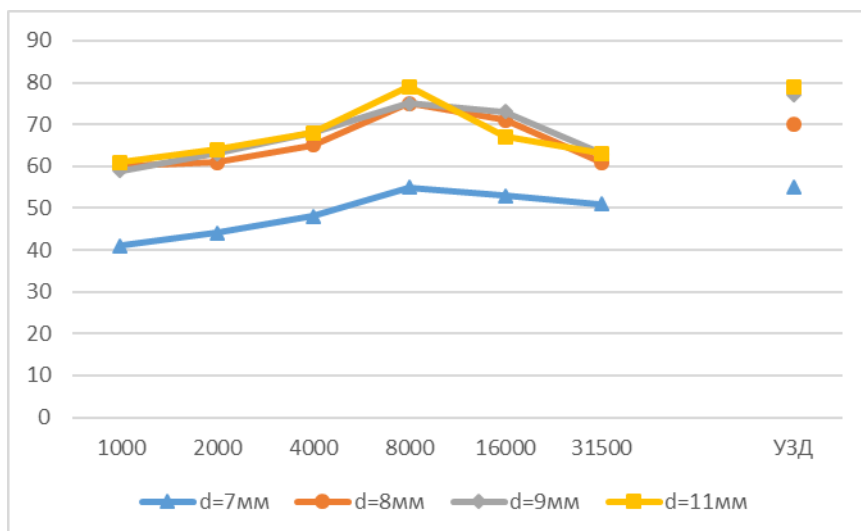


Рис. 2. Характеристики звукоизлучения образца 30Л при соударении

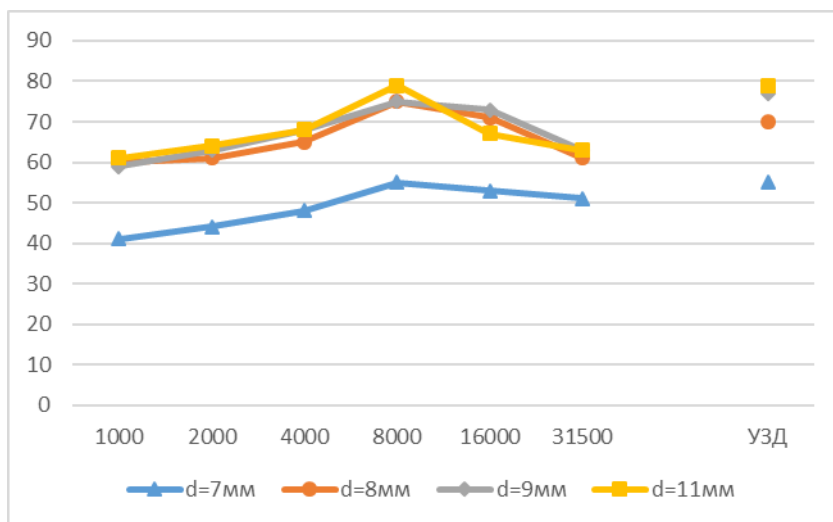


Рис. 3. Характеристики звукоизлучения образца 40Л при соударении

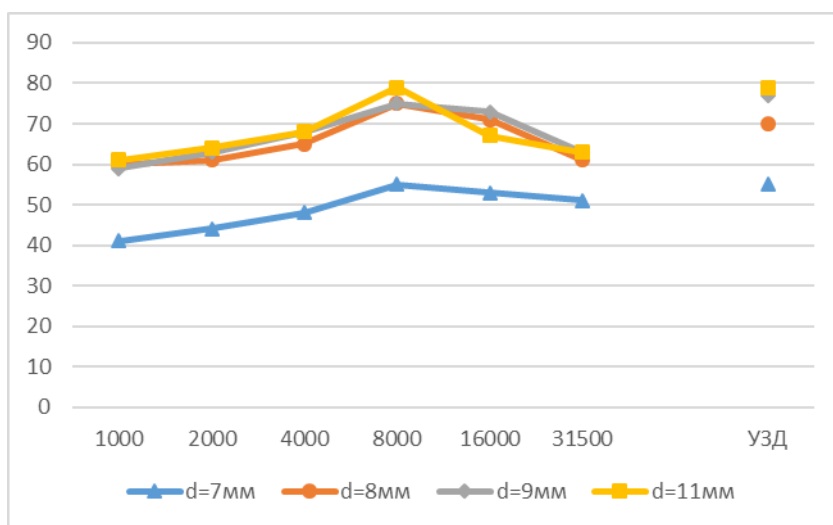


Рис. 4. Характеристики звукоизлучения образца 50Л при соударении

В таблице 4 представлены акустические характеристики образцов разработанных при соударении с шарами-ударниками разных диаметров.

Таблица 4. Акустические характеристики сталей МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3(НСП)

Марка сталей	Диаметр шароударника, d, мм	Уровни звуковых давлений, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						УЗ, дБА
		1000	2000	4000	8000	16000	31500	
МБГ-1	7	41	49	55	61	59	51	65
	8	55	58	61	71	66	56	73
	9	53	65	68	71	65	61	75
	11	61	62	65	73	70	68	81
МБГ-2	7	44	56	60	61	58	53	67
	8	59	59	63	69	66	58	72
	9	58	61	65	71	79	58	75
	11	59	58	63	75	78	69	78
МБГ-3	7	51	52	51	55	57	58	66
	8	61	62	65	77	71	65	79
	9	63	63	69	78	73	63	81
	11	71	68	68	77	69	70	93

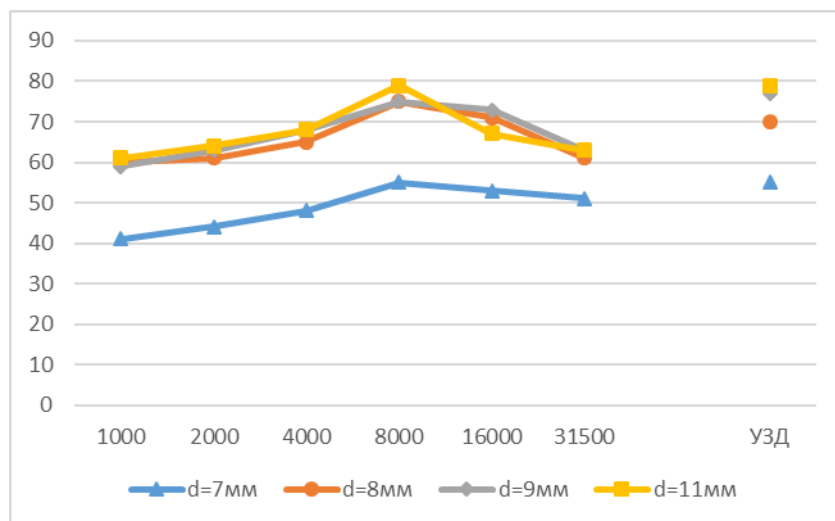


Рис. 5. Характеристики звукоизлучения образца МБГ-1 при соударении

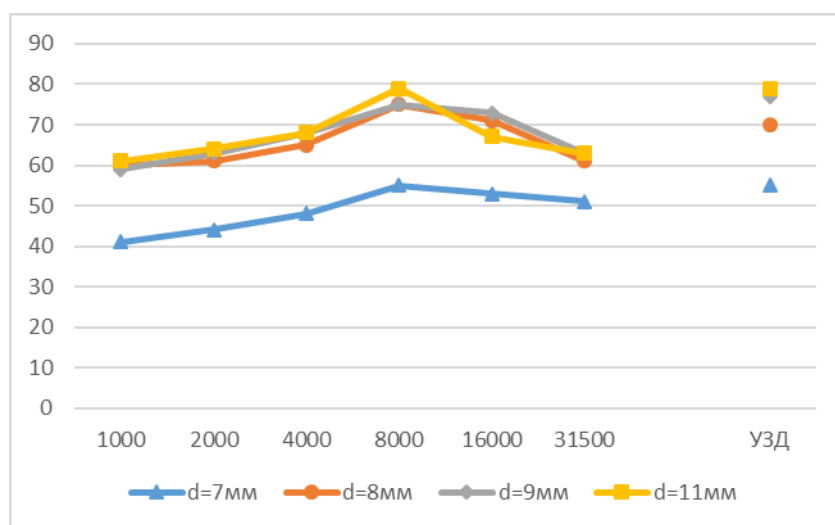


Рис. 6. Характеристики звукоизлучения образца МБГ-2 при соударении

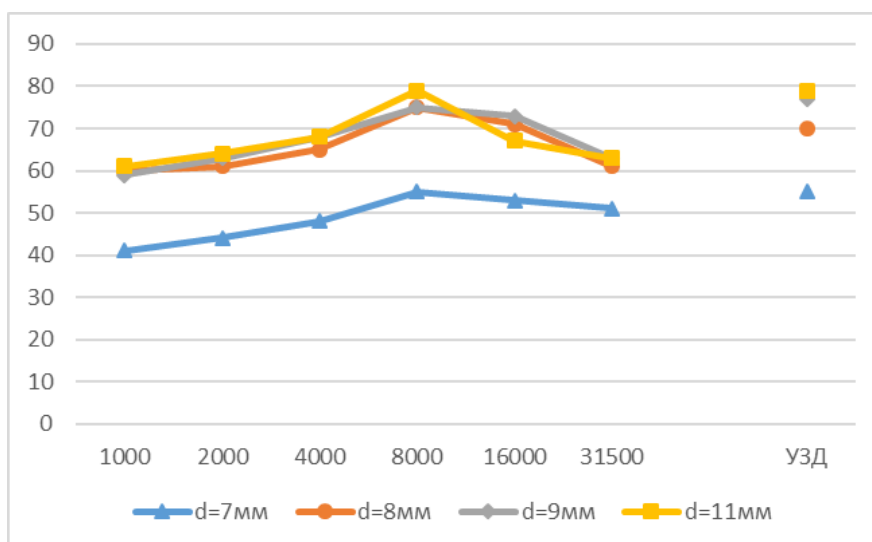


Рис. 7. Характеристики звукоизлучения образца МБГ-3 при соударении

Таблица 5. Акустические характеристики сплава МБГ-3(НСП)

Марка сталей	Диаметр шароударника, d, мм	Уровни звуковых давлений, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						УЗ, дБА
		1000	2000	4000	8000	16000	31500	
МБГ-3 (НСП)	7	41	44	48	55	53	51	55
	8	60	61	65	75	71	61	75
	9	59	63	68	75	73	63	79
	11	61	64	68	79	67	63	81

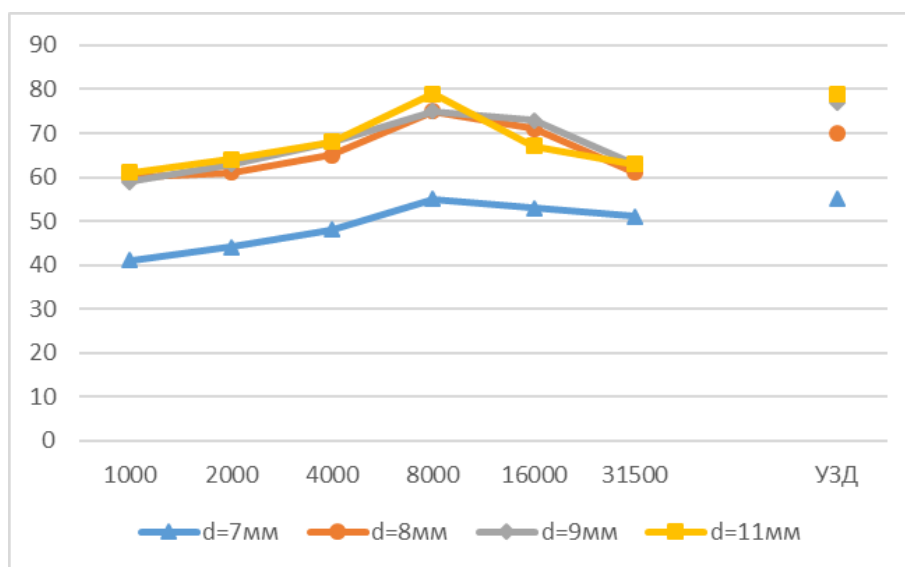


Рис. 8. Характеристики звукоизлучения образца МБГ-3(НСП) при соударении

В таблице 6-8 представлены вибрационные характеристики стандартных и разработанных образцов при соударении с шарами-ударниками разных диаметров.

Таблица 6. Вибрационные характеристики стандартных сталей

Марка стали	Диаметр шароударника, d, мм	Уровни виброускорения, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц											ОУВ У, дБ
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	31500	
30Л	7	73	72	78	65	60	56	57	76	85	81	81	93
	8	82	88	89	74	76	62	63	68	67	63	70	95
	9	78	65	65	60	61	57	58	65	63	61	57	98
	11	69	65	62	66	65	67	80	79	87	96	98	100
40Л	7	63	64	73	64	60	61	60	60	58	66	57	104
	8	58	60	71	69	64	61	61	63	69	60	63	111
	9	81	104	104	79	76	63	65	68	70	65	71	117
	11	103	99	94	92	68	65	63	66	65	65	63	121
50Л	7	69	70	73	70	63	67	68	75	77	77	82	91
	8	77	80	85	77	67	69	71	75	80	73	80	99
	9	74	88	87	75	67	71	68	65	79	81	91	101
	11	92	104	98	80	81	83	85	97	95	95	99	124

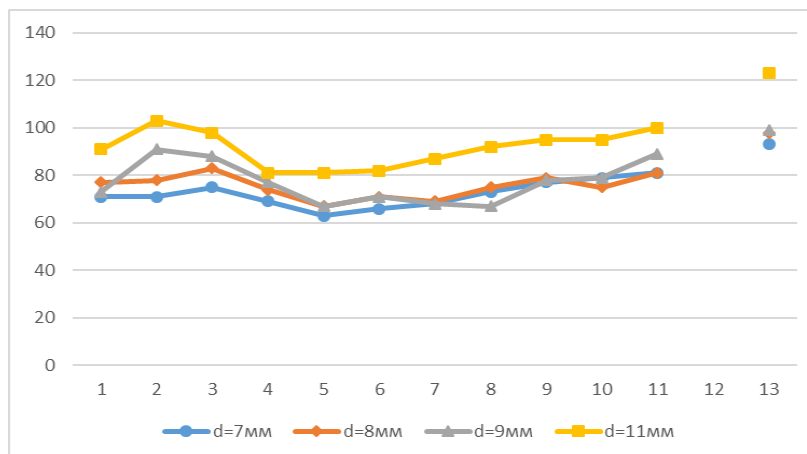


Рис. 9. Характеристики виброускорений стали 30Л при соударении

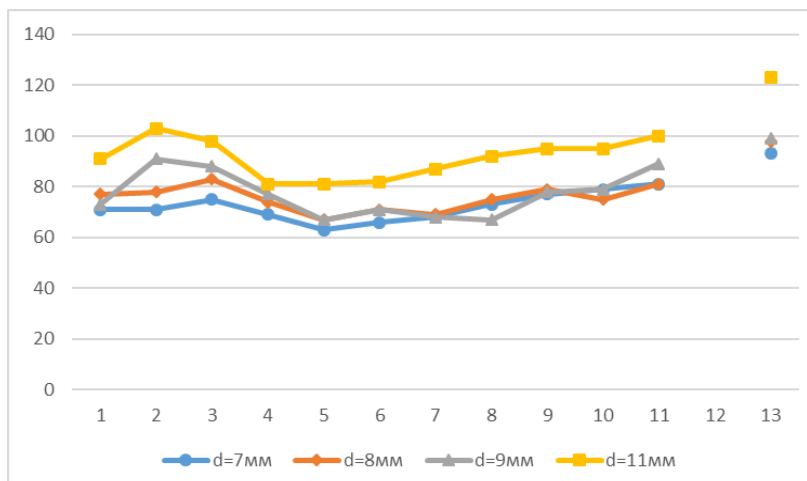


Рис. 10. Характеристики виброускорений стали 40Л при соударении

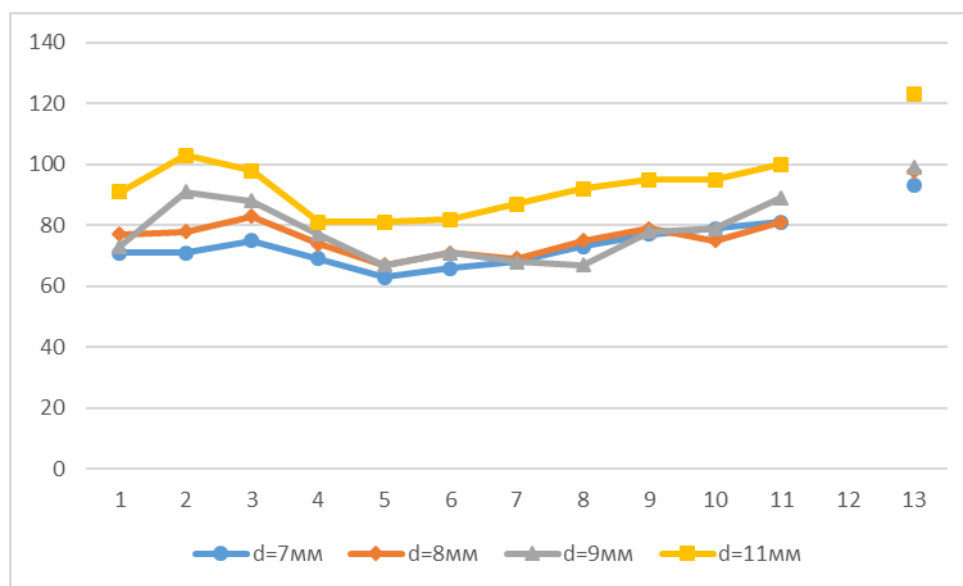


Рис. 11. Характеристики виброускорений стали 50Л при соударении

Таблица 7 – Вибрационные характеристики разработанных сталей МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3

Марка стали	Диаметр шароударника, d, мм	Уровни виброускорения, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц											ОУВУ, дБ
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	31500	
МБГ-1	7	71	72	76	61	58	54	55	74	84	81	79	91
	8	80	86	86	71	74	60	61	66	65	61	68	93
	9	76	63	62	58	59	55	56	63	61	58	55	96
	11	67	62	59	64	63	65	78	79	82	94	96	99
МБГ-2	7	61	63	70	62	58	59	58	58	55	62	55	101
	8	56	58	69	65	62	59	59	61	65	59	61	109
	9	78	101	100	77	74	61	63	66	69	63	69	115
	11	101	99	92	89	66	63	61	64	63	65	61	118
МБГ-3	71	71	75	69	63	66	68	73	77	79	81	71	93
	77	78	83	74	67	71	69	75	79	75	81	77	98
	73	91	88	77	67	71	68	67	78	79	89	73	99
	91	103	98	81	81	82	87	92	95	95	100	91	123

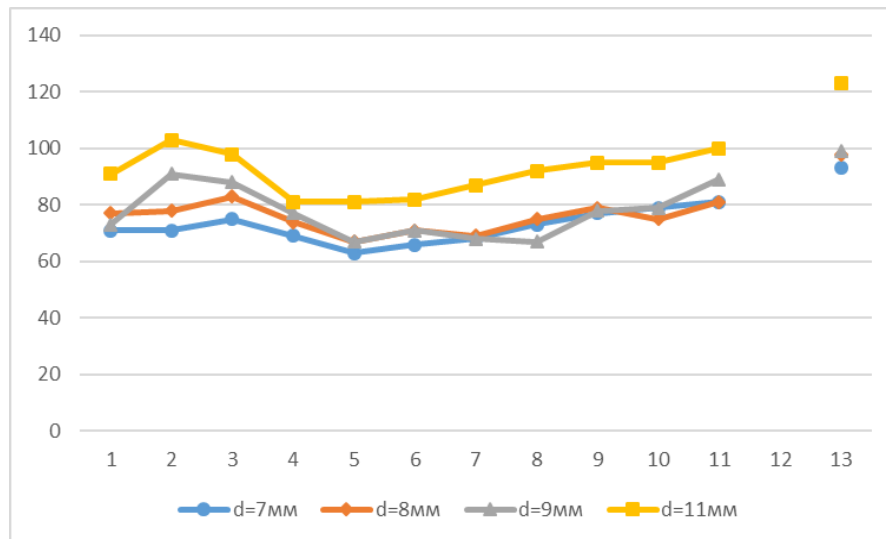


Рис. 12. Характеристики виброускорений стали МБГ-1 при соударении

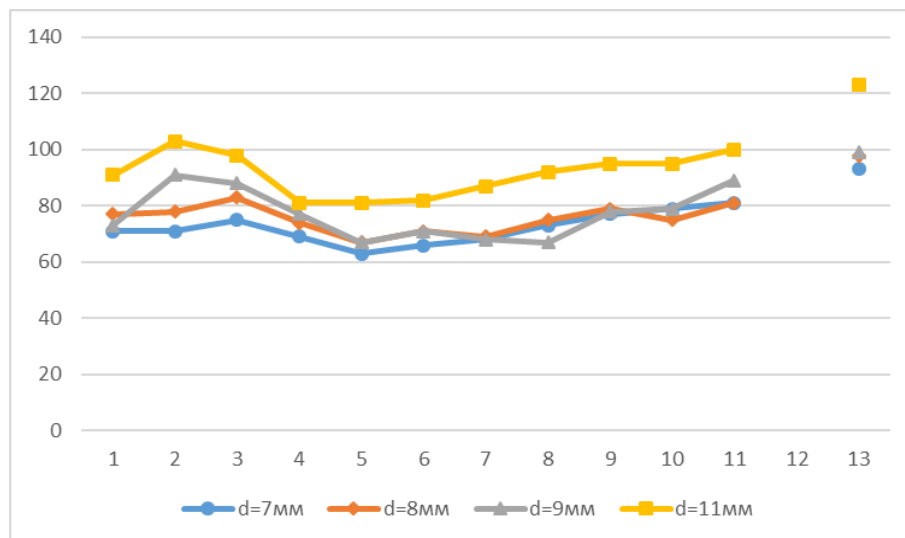


Рис.13. Характеристики виброускорений стали МБГ-2 при соударении

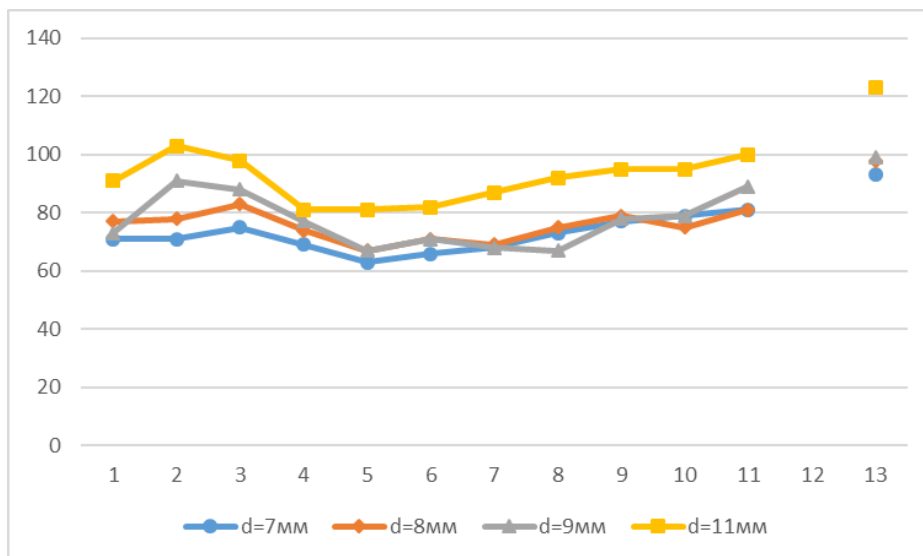


Рис. 14. Характеристики виброускорений стали МБГ-3 при соударении

Таблица 8. Вибрационные характеристики разработанного сплава МБГ-3(НСП)

Марка стали	Диаметр шара-ударника, d, мм	Уровни виброускорения, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц											ОУВУ, дБ
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	31500	
МБГ-3 (НСП)	7	67	68	71	68	61	65	68	71	75	75	81	89
	8	75	78	81	75	65	68	69	73	78	73	78	97
	9	72	88	85	73	65	69	65	63	77	78	89	98
	11	90	102	96	78	79	81	85	92	93	95	98	121

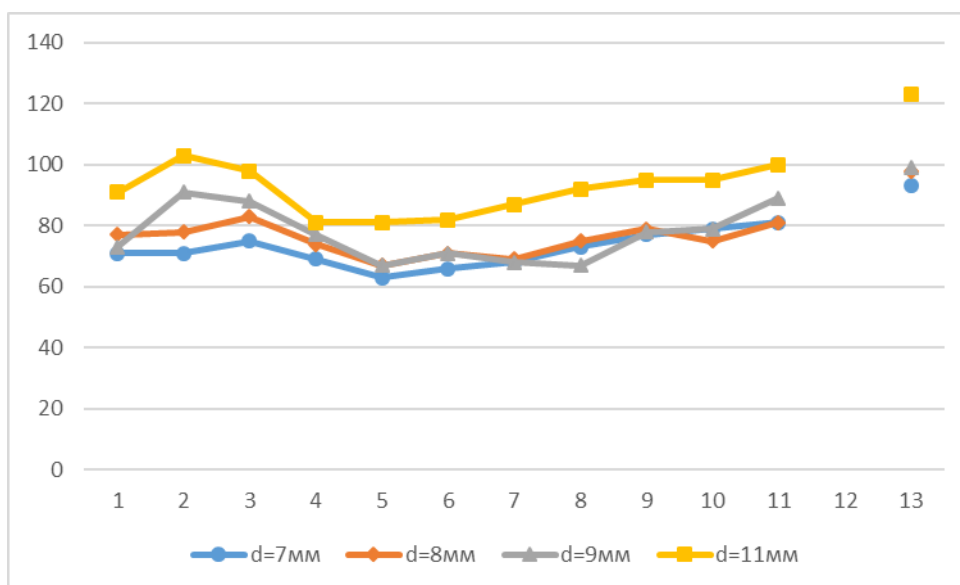


Рис. 15. Характеристики виброускорений стали МБГ-3(НСП) при соударении

Заключение. В результате проведенных работ было определено, что источниками затухания колебаний в сталях МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3(НСП) в амплитудно-зависимой области являются упругое двойникование, бездиффузионное обратимое фазовое превращение и магнитно-упругое рассеяние энергии.

Наноструктурное послойное покрытие (2 мкм) существенно отличается по плотности и физико-механическим свойствам от матрицы сплава, что обеспечивает эффективное демпфирование звуковых колебаний.

Данное исследование было поддержано Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках грантового финансирования (номер гранта AP08956794).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сулеев Д.К., Утепов Е.Б., Заликанова И.П. и др. Сплавы с повышенными демпфирующими свойствами для борьбы с шумом соударений; Монография. – Алматы, КазНТУ, 2006. – 311 с.
- [2] Вахидов У.Ш., Китов А.Г., Согин А.В., Шапкин В.А., Шапкина Ю.В. Параметры шума и вибрации транспортных и технологических машин. Журнал «Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований». – 2014. – № 7 – С. 8-11.
- [3] Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали. Справочник. – М.: Машиностроение, 1981. – 391 с.

- [4] Скороходов Е.А., Законников В.П., Пакнис А.Б. и др. Общетехнический справочник. – М.: Машиностроение. - 1989. – 512 с.
- [5] Ерконоыр А.К., Утепов Е.Б., Утепова А.Б. и др. Исследование шума и вибрации твердых образцов // Труды шестой международной научно-технической конференции «Новое в безопасности жизнедеятельности» (охрана труда, экология, валеология, защита человека в ЧС, токсикология). - Алматы. - 2004. - Ч. 1. - С. 52-54.
- [6] Блинков И.В., Аникин В.Н., Кратохвил Р.В., Соболев Н.А., Фролов А.Е. Наноструктурные покрытия на режущем инструменте, работающем в условиях непрерывного и прерывистого резания. Тр. 9 междунар.конф. «Технологии ремонта, восстановления, упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки». 11-14 апреля 2007, СПб. СПб: Изд-во СПб ГПУ, 2007. - ч.2. - с.22-29.
- [7] Сулеев Д.К., Утепов Е.Б., Заликанова И.П. и др. Измерение шумовых характеристик транспортной шума // Вестник КазНТУ. – Алматы: КазНТУ. - 2005. - № 3 (47). – С. 41-46..
- [8] ЕБ Утепов, ДК Сулеев, НК Бижанов. [Научные основы создания «тихих» сплавов \(проблемы акустической экологии\)](#). Алматы: ТОО «Принт. 2000, 332 стр.
- [9] Утепов Е.Б., Буршукова Г.А., Ибраева Г.М., Беркинбаева А.С., Утепов Е.Н., Абуова Р.Ж., Нургалиев А.К. Разработка сплавов на основе железа с повышенной демпфирующей способностью и высокими механическими свойствами. *Металлург*, №3, 2015. С. 52-56.
- [10] Утепов Е.Б., Нургалиев А.К., Буршукова Г.А., Беркинбаева А.С./Инновационный патент №30449. 15.10.2015, бюл. № 10. /Сплав с повышенными демпфирующими свойствами.
- [11] Сулеев Д.К., Утепов Т.Е., Буршукова Г.А., Тусупкалиева Э.А. Литые демпфирующие стали с наноструктурным покрытием. *Вестник КазНТУ*, №6, Алматы, 2014г. - с.61-68.
- [12] Блинков, И. В.; Волхонский, А. О.; Аникин, В. Н.; Конюхов, Ю. В. Наноструктурированные износостойкие покрытия на основе многокомпонентных нитридов, получаемые методом вакуумно-дугового ионно-плазменного осаждения // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. - 2012. - Т. 48, № 6. - С. 546-553.

REFERENCES

- [1] Suleev D.K., Uteпов E.B., Zalikanova I.P. i dr. Splavy s povyshennymi dempfiroyushchimi svoystvami dlya bor'by s shumom soudarenii; Monografiya. – Алматы, KazNTU, 2006. – 311 s.
- [2] Vakhidov U.Sh., Kitov A.G., Sogin A.V., Shapkin V.A., Shapkina Yu.V. Parametry shuma i vibratsii transportnykh i tekhnologicheskikh mashin. Zhurnal «Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy». – 2014. – № 7 – S. 8-11.
- [3] Zhuravlev V.N., Nikolaeva O.I. Mashinostroitel'nye stali. Spravochnik. – М.: Mashinostroenie, 1981. – 391 s.
- [4] Skorokhodov E.A., Zakonnikov V.P., Paknis A.B. i dr. Obshchetekhnicheskii spravochnik. – М.: Mashinostroenie. - 1989. – 512 s.
- [5] Erkonyr A.K., Uteпов E.B., Uteпова A.B. i dr. Issledovanie shuma i vibratsii tverdykh obraztsov // Trudy shestoi mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Novoe v bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti» (okhrana truda, ekologiya, valeologiya, zashchita cheloveka v ChS, toksikologiya). - Алматы. - 2004. - Ch. 1. - S. 52-54.
- [6] Blinkov I.V., Anikin V.N., Kratokhvil R.V., Sobolev N.A., Frolov A.E. Nanostrukturnye pokrytiya na rezhushchem instrumente, rabotayushchem v usloviyakh nepreryvnogo i preryvistogo rezaniya. Tr. 9 mezhdunar.konf. «Tekhnologii remonta, vosstanovleniya, uprochneniya detalei mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoi osnastki». 11-14 aprelya 2007, SPb. SPb: Izd-vo SPb GPU, 2007. - ch.2. - s.22-29.
- [7] Suleev D.K., Uteпов E.B., Zalikanova I.P. i dr. Izmerenie shumovykh kharakteristik transportnoi shuma // Vestnik KazNTU. – Алматы: KazNTU. - 2005. - № 3 (47). – С. 41-46.
- [8] Uteпов E.B., Suleev D.K., Bizhanov N.K. Nauchnye osnovy sozdaniya «tikhikh» splavov (problemy akusticheskoi ekologii). Алматы: ТОО «Print. 2000, 332 стр.
- [9] Uteпов E.B., Burshukova G.A., Ibraeva G.M., Berkinbaeva A.S., Uteпов E.N., Abuova R.Zh., Nurgaliev A.K. Razrabotka splavov na osnove zheleza s povyshennoi dempfiroyushchei sposobnost'yu i vysokimi mekhanicheskimi svoystvami. *Metallurg*, №3, 2015. S. 52-56.
- [10] Uteпов E.B., Nurgaliev A.K., Burshukova G.A., Berkinbaeva A.S./Innovatsionnyi patent №30449. 15.10.2015, byul. № 10. /Splav s povyshennymi dempfiroyushchimi svoystvami.

[11] Suleev D.K., Uteпов T.E., Burshukova G.A., Tusupkalieva E.A. Lite dempfiruyushchie stali s nanostrukturnym pokrytiem. Vestnik KazNTU, №6, Almaty, 2014g. - s.61-68.

[12] Blinkov, I.V.; Volkhonskii, A.O.; Anikin, V.N.; Konyukhov, Yu.V. Nanostrukturirovannye iznosostoikie pokrytiya na osnove mnogokomponentnykh nitridov, poluchaemye metodom vakuumno-dugovogo ionno-plazmennogo osazhdeniya // Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov. - 2012. - T. 48, № 6. - S. 546-553.

Г.А. Буршукова*, Р.Ж. Абуова, А.Е. Канажанов

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*e-mail: gzzi@mail.ru

Темір негізіндегі қорытпалардың вибрациялық және акустикалық сипаттамаларын зерттеу

Аңдатпа: Мақала нанокұрылымдық жабындысы бар демпферлеуші қорытпаларды жасау бойынша өзекті мәселеге арналған. Зерттеу нысаны - берілістер, тәждер, жартылай муфталар, берілістер жасау үшін қолданылатын және акустикалық қолайсыздықты тудыратын шу шығаратын болаттар болып табылады. Жұмыстың негізгі идеясы болаттардың акустикалық, діріл, физика-механикалық және демпферлік қасиеттерін бағалау, шу мен дірілді азайтуды қамтамасыз ететін жоғары демпферлік қасиеттері бар нанокұрылымды жабындысы бар болаттарды алу болып табылады. Жұмыс барысында қорытпалардың акустикалық (дыбыс деңгейі, дыбыс қысымының деңгейі) сипаттамалары зерттелді. Жүргізілген жұмыстардың қорытындысы бойынша темір негізіндегі жаңа демпферлік металл материалдар әзірленді.

Негізгі сөздер: қорытпа, жабынды, демпферлеу, сокқы, шу, вибрация.

G.A. Burshukova*, R.Zh. Abuova, A.Ye. Kanazhanov

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: gzzi@mail.ru

Investigation of vibration and acoustic characteristics of iron-based alloys

Abstract: The article is devoted to the actual problem of creating damping steels with a nanostructured coating. The object of research is the steels used for the manufacture of gears, rims, half-couplings, gears and generating noise that creates acoustic discomfort. The main idea of the work is to assess the acoustic, vibration, physical-mechanical and damping properties of steels, to obtain steels with a nanostructured coating with increased damping properties, which reduce noise and vibration. During the work, the acoustic (sound level, sound pressure level) characteristics of the alloys were investigated. Based on the results of the work carried out, new damping metal materials based on iron have been developed.

Keywords: alloys, coating, damping, impacts, noise, vibration.