

УТЕПОВ ТИМУР ЕРКАСЫНОВИЧ

**Разработка вибродемпфирующих металлических материалов
на основе железа для снижения производственного шума**

Специальность 05.26.01 – Охрана труда

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Республика Казахстан
Алматы, 2010

Работа выполнена в Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева Министерства образования и науки Республики Казахстан

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Сулеев Д.К.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Русак О.М.

доктор технических наук, профессор
Шакиров А.Т.

доктор технических наук, профессор
Дюсебаев М.К.

Ведущая организация: Институт горного дела имени Д.А. Кунаева

Защита состоится «30» октября 2010 года в 14³⁰ на заседании диссертационного совета Д 14.61.25 при Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева по адресу: 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22, корпус НК, 1 этаж, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казахского национального технического университета имени К.И.Сатпаева.

Автореферат разослан «___» _____ 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

М.Т. Жараспаев

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Одними из вредных факторов производства являются шум и вибрация. Шум, излучаемый повышенного уровня при работе деталей машин и механизмов, значительно выше санитарных норм. В борьбе с шумом и вибрацией в основном используют традиционные методы: звукопоглощение, звукоизоляция, использование индивидуальных средств защиты органов слуха (ИСЗОС), административные мероприятия. Недостаток этих методов очевиден - с шумом борются после того, как его создали, устанавливая преграды на пути его распространения. При этом ухудшаются условия труда, загромождается рабочее пространство (звукоизоляция, звукопоглощение), повышается запыленность и пожароопасность (звукопоглощение), маскируются предупреждающие сигналы (ИСЗОС) и др.

Поэтому наиболее перспективным способом защиты работника от шума является борьба с шумом в источнике возникновения (замена ударных процессов безударными, например, замена зубчатых передач клиноременными; использование малозумных технологий; использование неметаллических материалов вместо металлических; применение демпфирующих сплавов).

К сожалению, не всегда получается заменить ударные процессы на безударные. Неметаллические материалы существенно уступают по прочностным свойствам металлическим материалам, особенно при повышенных температурах. Некоторые специалисты рекомендуют в качестве демпфирования использовать цветные металлы (бронза, медные, алюминиевые и др. сплавы). Следует отметить, что цветные металлы также существенно уступают по прочностным свойствам черным металлам. Поэтому наиболее радикальным и современным является создание демпфирующих сплавов на основе железа. Несмотря на немногочисленные публикации научных работ по созданию демпфирующих сплавов на основе железа, до сих пор отсутствуют сведения об акустических и диссипативных свойствах черных металлов в справочной литературе. Технологи и конструкторы создают машины и механизмы без учета демпфирующих свойств сталей. Это научное направление по борьбе с шумом развивалось усилиями ученых Киева (академик Писаренко Г.С.), Московского института стали и сплавов (проф., к.т.н. Б.М. Злобинский), проф., д.т.н. В.Н. Бринза, к.т.н. Е.Б. Утепов, д.т.н. М.М. Хакдопов, доц., к.т.н. Л.Н. Москалева, к.т.н. А.А. Парфенов, к.т.н. В.А. Муравьев, к.т.н. Е.П. Потоцкий, к.т.н. В.Н. Тен и др.), Кировского технического университета, Тульского технического университета (проф., д.т.н. С.А. Головин), Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева (академик НАН РК Д.К. Сулеев, проф., д.т.н. Е.Б. Утепов, к.т.н. Г.Ж. Нурулдаева, к.т.н. К.К. Карменов, к.т.н. М.Р. Турлыбекова, к.т.н. А.Б. Утепова, к.т.н. Ф.К. Батесова, к.т.н. В.С. Шевцова, к.т.н. Д.М. Акубаева). Сущность этого направления состоит в создании демпфирующих сплавов на основе железа за счет изменения химического состава и использования термической обработки. Однако этим способом удается снизить шум максимум на 6-10 дБА. Поэтому представляет интерес появление научных работ, использующих сочетание

нескольких металлических материалов (листовых) в виде биметаллов и использования наноструктурных покрытий. В этих редких работах исследователи попытались исследовать акустические свойства биметаллов и хромкремнистых сталей с наноструктурным покрытием. Исследователями не затронуты такие перспективные с точки зрения демпфирования как порошковые металлические материалы на основе железа.

Из проведенного анализа следует сделать вывод, что необходимо разнообразить способы создания вибродемпфирующих материалов на основе железа за счет порошковых металлических материалов, слоенных металлов (биметаллов) и применения наноструктурных материалов.

Объектом исследования являются отрасли промышленности, характеризующиеся повышенным уровнем шума и вибрации и металлические материалы, используемые для деталей машин и механизмов в режиме циклических ударных нагрузок.

Предметом исследования являются повышенные уровни шума и вибрации на рабочих местах.

Основная идея работы состоит в оценке акустических, демпфирующих и физико-механических характеристик известных сплавов на основе железа с использованием лучших из них в технике борьбы с шумом и вибрацией, создании новых литых, порошковых, биметаллических и наноструктурных материалов на основе железа с повышенными демпфирующими свойствами.

Целью работы является разработка вибродемпфирующих металлических материалов на основе железа с использованием порошковых металлических материалов (ПММ), слоеных (биметаллических) материалов и наноструктурных материалов на основе железа и математической модели к ним, описывающей синусоидальную зависимость звукового давления в трехмерном пространстве от частоты собственных колебаний стальной трубы.

В соответствии с идеей и целью работы в диссертации поставлены и решены следующие задачи:

- оценить акустические, демпфирующие, физико-механические свойства металлических материалов, используемых для изготовления деталей, работающих в режиме соударений (стали 08, 08кп, 10, 15, 20, 25, 10Г2, 20Г, 30, 45, 15Х, 20Х, 18ХГТ и др.);

- разработать литые, биметаллические и порошковые материалы на основе железа;

- изготовить наноструктурные материалы ионно-плазменным способом (нанопокрывание на поверхности сталей);

- исследовать акустические, демпфирующие и физико-механические свойства литых, порошковых, композиционных и наноструктурных материалов для техники борьбы с шумом и вибрацией;

- разработать рекомендации по использованию в промышленности наноструктурных, порошковых и композиционных материалов для снижения шума и вибрации;

- внедрить разработанные литые, порошковые, наноструктурные и композиционные материалы в производство с целью улучшения условий труда.

Научные положения, выносимые на защиту:

1 Созданные наноструктурные покрытия (до 400 нм) на поверхности сталей за счет генерации (Ti-Al-N) в вакуумное пространство камеры, обеспечивающие повышение диссипативных свойств металлического материала на 30-40%, что снижает шум на 8-16 дБА, гарантирующее улучшение условий труда.

2 Созданные композиционные металлические материалы (биметаллы) в виде клепанных двухслойных материалов, склеенных двух- и трехслойных материалов, обеспечивающие снижение шума и вибрации на 6-14 дБА по сравнению с литыми и коваными заготовками, что снижает опасность слуховой травмы работающих.

3 Математическая модель, описывающая синусоидальную зависимость звукового давления в точке трехмерного пространства от частоты собственных колебаний стальной трубы и экспоненциальную от диссипативных характеристик сплава, позволяющая рассчитывать уровни шума без проведения экспериментальных замеров;

4 Закономерность изменения резонирующих квазипродольных и квазисдвиговых мод при генерировании и затухании ударного шума.

5 Демпфирующие свойства порошковых металлических материалов, существенно зависящие от способа прессования и термической обработки, при этом демпфирующие свойства порошкового материала (ДПМ) повышаются при создании переменной плотности прессованного порошкового материала.

6 Закономерность изменения демпфирующих и акустических свойств, разработанных вибродемпфирующих металлических материалов при термической обработке.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработана технология получения наноструктурных покрытий, обеспечивающая повышение демпфирующих свойств;

- биметаллы (двухслойные, трехслойные) обеспечивают снижение шума на 6-14 дБА по сравнению с литыми и коваными заготовками;

- разработана математическая модель, описывающая зависимость уровня шума от частоты собственных колебаний стальной трубы;

- теоретически определен уровень звукового давления в пространстве на определенном расстоянии от оси стальной трубы;

- теоретически определены резонирующие квазипродольные и квазисдвиговые моды ударного шума;

- отжиг плакирующего слоя биметалла обеспечивает снижение шума на 10-14 дБА по сравнению с нормализацией и закалкой (с низким отпускком);

- нанопокрывание толщиной 400 нм обеспечивает как снижение шума и вибрации, так и повышение прочностных характеристик наноструктурных материалов;

- разработаны демпфирующие порошковые материалы на основе железа, отличающиеся от обычных порошковых металлических материалов (ПММ) переменной плотностью, что обеспечивает изменение скорости звука в структуре порошковых металлических материалов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации, подтверждаются:

- использованием теоретических предпосылок, базирующихся на законах акустики, металловедения, физики, химии, теории демпфирования, колебаний и волн;

- корректностью постановки теоретических задач, принятыми допущениями, достаточным объемом исходных данных и инструментальных исследований;

- совокупностью и удовлетворительной сходимостью результатов аналитических, лабораторных, промышленных исследований характеристик звукоизлучения.

Результаты исследований проверены опытно-промышленными испытаниями, внедрены на производстве, при этом получен экономический эффект.

Методы исследования. В работе использована комплексная методика исследований, включающая аналитический обзор, патентный поиск и обобщение отечественного и зарубежного опыта снижения шума ударного происхождения, физическое моделирование, математическое планирование эксперимента, натурные испытания, а также применение математической статистики.

Практическая ценность и реализация работы заключается в: создании новых литых, наноструктурных, порошковых и биметаллических материалов с повышенными демпфирующими свойствами, разработке рекомендаций по улучшению условий труда на шумоопасном оборудовании.

Личный вклад автора в науку: разработаны литые, наноструктурные порошковые материалы с повышенными демпфирующими свойствами; композиционные демпфирующие материалы и конструкции; исследованы акустические, демпфирующие и физико-механические характеристики разработанных и стандартных сталей и сплавов.

Связь диссертации с планами НИР. Работа выполнялась в соответствии с планом научно-исследовательских работ Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева. Результаты работы были использованы при выполнении:

- гранта МОН РК по теме 6.636П.02 «Разработка новых конструкционных материалов с повышенными демпфирующими свойствами для использования в технике борьбы с шумом» (срок: 2002-2006 гг., объем финансирования – 700 000 тенге);

- гранта НАН РК по теме 6.649Ф.03 «Исследование процессов дефектообразования и структурно-фазовых превращений в демпфирующих сплавах на основе железа» (срок: 2003-2005 гг., объем финансирования 2 630 000 тенге);

- бюджетной программы 006 «Прикладные научные исследования технологического характера», подпрограммы «Разработка биметаллических материалов с повышенными демпфирующими свойствами» (объем финансирования 2 000 000 тенге, договор № 24/8 от 30.05.2006 Министерства индустрии и торговли РК);

- программы фундаментальных исследований 19.02 по теме: «Исследование структурно-фазовых превращений в демпфирующих спеченных порошковых сплавах» (срок: 2006-2008 гг., объем финансирования 9 000 000 тенге);

- гранта МОН РК по теме: «Разработка научных основ и технологии конструирования и синтеза наноструктурных демпфирующих материалов» (срок: 2007-2009 гг., объем финансирования 6 180 000 тенге);

- гранта МОН РК по теме "Разработка научных основ и технологии конструирования и синтеза наноструктурных демпфирующих материалов» (СРОК: 2007-2009 гг., объем финансирования 9 000 000 тенге).

Реализация результатов работы. Наноструктурные, литые, порошковые, биметаллические материалы, с повышенными демпфирующими свойствами внедрены в производство.

Апробация работы. Результаты работы доложены на: VI Международной научно-технической конференции «Новое в безопасности жизнедеятельности» (охрана труда, экология, валеология, защита человека в ЧС, токсикология). - Алматы, КазНТУ, 2004 г.; Международной конференции «Индустриально-инновационное развитие экономики». – Алматы: КазНТУ, 2004 г.; VII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности» (охрана труда, экология, валеология, защита человека в ЧС, токсикология, экономические и правовые аспекты БЖД). - Алматы, КазНТУ, 2005 г.; Втором форуме возрождения китайской северо-восточной старой промышленной базы: научно-техническое сотрудничество Китая (Форум – 2006), Китай, Харбин. – 2006 г.; VIII Международной научно-технической конференции «Новое в безопасности жизнедеятельности» (охрана труда, экология, валеология, защита человека в ЧС, токсикология, экономические, правовые и психологические аспекты БЖД, логистика). - Алматы, КазНТУ, 2006 г.; IX Международной научно-технической конференции «Новое в безопасности жизнедеятельности» (охрана труда, экология, валеология, защита человека в ЧС, токсикология, экономические, правовые и психологические аспекты БЖД, логистика). - Алматы: КазНТУ, 2007 г.; научно-практической конференции «Актуальные вопросы охраны труда и здоровья работников на современном этапе». – Астана, 2007 г.; Международной научно-технической конференции «Инновационные пути развития нефтегазовой отрасли Республики Казахстан». – Алматы: КазНТУ, 2007 г.; Международной научно-практической конференции, Ставрополь «Сервисшкола», 2008 г.; X Международной научно-технической конференции «Новое в безопасности жизнедеятельности» (охрана труда, экология, защита человека в ЧС, экономические, правовые, логистика). - Алматы: КазНТУ, 2008 г.; XI Международной научно-технической конференции «Новое в безопасности жизнедеятельности» (защита человека в ЧС, охрана труда, экология, логистика, экономика, материаловедение демпфирующих сплавов). - Алматы: КазНТУ, 2009 г.

Публикации по теме диссертации: Результаты диссертационной работы опубликованы в 59 научных трудах, в том числе 6 монографиях, 19 статей в из-

даниях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 30 статей опубликованы в сборниках трудов КазНТУ имени К.И. Сатпаева и в трудах международных научно-технических конференциях. Получены 4 инновационных патента РК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 8 разделов, заключения, списка использованных источников из 212 наименований, содержит 257 страниц компьютерного набора, в том числе 85 рисунка, 52 таблицы, 8 приложений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цель и задачи исследования, представлены основные защищаемые научные положения, научная новизна, личный вклад автора в науку, обоснованность и достоверность научных положений, практическая значимость работы, реализация результатов работы, апробация работы, связь диссертации с планами научно-исследовательских работ, количество публикаций, структура и объем работы.

Первый раздел посвящен аналитическому обзору известных теоретических и прикладных исследований по проблеме снижения производственного шума. При этом выделен шум соударений – как один из самых вредных.

Несмотря на успехи в деле создания демпфирующих сплавов, проблема снижения шума соударений остается актуальной.

Анализ научной литературы показал, что практически отсутствуют разработки демпфирующих металлических материалов на основе порошковой металлургии, слоеных металлов, наноструктурных материалов.

В связи с этим были поставлены задачи по исследованию акустических, демпфирующих и физико-механических свойств биметаллов, спеченных и наноструктурных материалов.

В разделе 2 приведены методы исследования акустических, диссипативных, физико-механических свойств металлических материалов. В работе определялись: а) физико-механические характеристики материалов – модуль сдвига, модуль Юнга, предел прочности при растяжении, предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение; б) параметры диссипации – внутреннее трение, относительное рассеяние, декремент колебаний; в) акустические характеристики – уровень звука, частотная зависимость уровня звукового давления; г) вибрационные характеристики – общий уровень виброускорения, частотная зависимость уровня виброускорения; д) металлографические параметры – фазовый состав, структурные составляющие, наличие неметаллических включений, их форма, химический состав, процентное содержание, величина зерна и т.д.

В качестве объекта исследования были выбраны, стали и сплавы как стандартные, используемые в промышленности, так и оригинальные, выплавленные автором. Данные о химическом составе исследуемых материалов приведены в таблице 1.

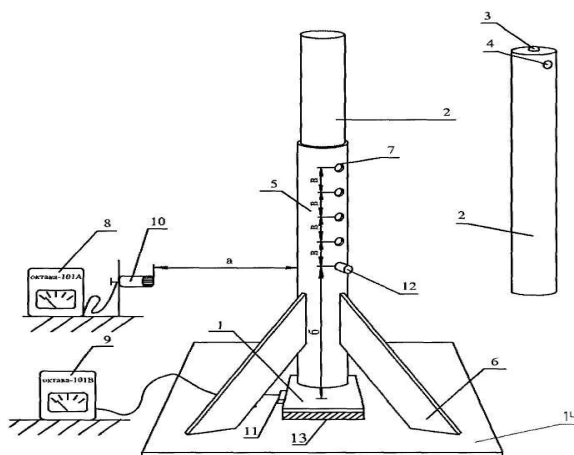
Кроме этих сталей был получен «Сплав КазНТУ на основе железа» (0,01% С; 0,5% Si; (0,8-1,0)% Mn; (0,5-1,0)% Ni; 0,5% Ti; 0,05% Ca; 0,05% La; остальное – Fe). Этот сплав снижает шум на (10-12) дБА по сравнению со стандартными сталями. На этот сплав получен патент РК № 21005, С22С, 38-60.

Получен патент на «Сплав на основе железа» (патент № 21006, С22С, 38-60), содержащий (0,16-0,22)% С; (0,25-0,65)% Si; (1,3-1,5)% Mn; (1,0-1,35)% Ni; (0,8-1,5)% Cr; (0,25-0,5)% Mo; (0,08-1,5)% V; (0,05-0,08)% Se; 0,58% Nb; 1,0% Al; 0,5% В; остальное – железо. Этот сплав также обеспечивает снижение шума при соударении.

Для снижения шума соударения был разработан также «Железоуглеродистый сплав КазНТУ V» (патент РК № 22295), содержащий (0,14-0,22)% С; (3,05-3,17)% Si; (2,9-3,15)% Mn; 1,3% Cr; 0,3% Ni; 0,05% S; 0,04% P; 0,3% Cu; 0,08% As; остальное - железо.

Исследование акустических (уровень звука, уровень звукового давления) и вибрационных (уровень виброускорения) свойств сплавов проводили на устройстве для исследования материалов по звукоизлучению (патент РК № 22198).

Устройство работает следующим образом (рисунок 1).



1 - образец; 2 - ударник; 3 - наконечник ударника; 4 - отверстие для фиксатора в ударнике; 5 - корпус; 6-рёбра жесткости; 7 - отверстия для фиксатора в корпусе; 8 - шумомер «Октава-101А»; 9 - вибромерительный прибор «Октава-101В»; 10 - микрофон; 11 - вибродатчик; 12 - фиксатор; 13 - виброизолирующий слой; а - расстояние от микрофона до корпуса; б - высота падения ударника; в - расстояние между отверстиями для установки фиксатора; 14 - основание

Рисунок 1 - Устройство для исследования соударения моделей «пуансона» и «матрицы»

Таблица 1 - Химический состав и механические свойства исследованных литых сталей

Марка стали	Химический состав,% вес											Механические свойства				Критич. точки	
	C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	As	Ce	La	S	P	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %	a_n , Дж/см ²	Ac ₁	Ac ₃
08	0,05-0,12	0,17-0,37	0,35-0,65	0,10	0,25	0,25	0,08	-	-	0,04	0,035	310-320	20-30	50-60	230-240	735	874
0,8кп	0,05-0,11	≤0,03	0,25-0,5	0,10	0,25	0,25	0,08	-	-	0,04	0,035	175-490	20-40	60	-	732	874
10	0,07-0,14	0,17-0,37	0,35-0,65	0,13	0,25	0,25	0,08	-	-	0,04	0,035	290-390	23-35	50-55	230-245	732	870
15	0,12-0,19	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25	0,25	0,25	0,08	-	-	0,04	0,035	330-460	23-27	45-55	70-115	735	860
20	0,17-0,24	0,17-0,34	0,35-0,65	0,25	0,25	0,25	0,08	-	-	0,04	0,035	420	25	55	50	735	850
25	0,22-0,30	0,17	0,5-0,8	0,25	0,25	0,25	0,08	-	-	0,04	0,035	390-540	19-26	40-50	135-145	735	835
10Г2	0,07-0,15	0,17	1,2-1,6	0,3	0,25	0,25	0,08	-	-	0,04	0,035	430	22	50	90	732	870
20Г	0,17-0,24	0,17	0,7-1,0	0,3	0,25	0,25	0,08	-	-	0,04	0,035	460	24	50	90	723	830
T1	0,04	0,19	0,45	0,15	0,25	0,25	0,08	0,1	-	0,04	0,035	360	27	57	245	735	874
T2	0,03	0,22	0,50	0,18	0,25	0,25	0,08	0,15	0,01	0,04	0,035	510	29	55	234	732	874
T3	0,09	0,20	0,48	0,14	0,25	0,25	0,08	0,11	0,01	0,04	0,035	480	26	48	202	732	874
T4	0,18	0,31	0,35	0,10	0,25	0,25	0,08	0,08	0,1	0,04	0,035	495	27	54	118	735	860
T5	0,25	0,28	0,37	0,09	0,25	0,25	0,08	0,13	0,01	0,04	0,035	585	32	53	210	735	835
T6	0,15	0,15	0,48	0,08	0,25	0,25	0,08	0,07	0,12	0,04	0,035	496	22	48	236	735	860
T7	0,11	0,33	1,5	0,12	0,25	0,25	0,08	-	0,15	0,04	0,035	565	24	53	285	732	870
T8	0,10	0,30	0,9	0,13	0,25	0,25	0,08	0,06	0,14	0,04	0,035	574	27	51	231	732	870

Ударник 2 устанавливается внутри корпуса 5 и фиксируется фиксатором 12. Образец 1 устанавливается под корпусом 5 на виброизолирующий слой 13. При извлечении фиксатора 12 из отверстия 7, обеспечивается свободное падение ударника 2. Ударник 2 соударяется с образцом 1, создает шум и вибрация соударения, фиксируемые шумомером «Октава-101А» и виброметром «Октава-101В». Для повторного соударения ударник 2 поднимается на определенную высоту и фиксируется фиксатором 12.

Уровни звукового давления исследовали в октавных полосах частот в диапазоне 500-16000 Гц. Уровень звука – по шкале "А". В качестве объекта исследования были выбраны также хромистые стали (стандартные: 15Х, 20Х, 18ХГТ; выплавленные: Т-17, Т-18, Т-19, УТЕ-4, УТЕ-5, УТЕ-5, УТЕ-6, УТЕ-7, УТЕ-8, УТЕ-9, УТЕ-10). Назначение сталей их общая характеристика приведены в таблице 2. Механические свойства и химический состав исследованных сталей приведены в таблице 3.

Плавку производили в индукционной печи.

Таблица 2 - Назначение и общая характеристика хромистых сталей

Сталь	Назначение
15Х 20Х	Для цементуемых деталей, работающих на трение и требующих повышенной, по сравнению с углеродистой сталью, прочности сердцевин (поршневые пальцы и кольца, распределительные и червячные валы, толкатели клапанов, копиры, ролики толкателей автотракторных двигателей, детали моторов сечением до 30 мм, подвергаемые цементации и цианированию). Сталь 20Х может применяться так же, как улучшаемая сталь.
18ХГТ	Зубчатые колеса коробок передач автомобилей и тракторов и ведомое зубчатое колесо бортовой передачи трактора. Оптимальными свойствами обладает при глубине цементованного слоя 0,9 мм и концентрации углерода 0,87%. Сталь применяется и как азотируемая для ходовых валиков и винтов станков и других деталей, от которых требуется минимальная деформация.

Таблица 3 - Химический состав исследованных хромистых сталей

Сталь	С	Si	Mn	Cr	Ti	РЗМ	НСП, м
1	2	3	4	5	6	7	8
15Х	0,12-0,18	0,17-0,37	0,4-0,7	0,7-1,0	-	-	-
20Х	0,34-0,42	0,17-0,37	0,5-0,8	0,7-1,0	0,3	-	-
18ХГТ	0,17-0,23	0,17-0,37	0,8-1,1	1,0-1,3	0,03-1,09	-	-
Т-17	0,15	0,22	0,5	0,9	0,5	0,25	-
Т-18	0,21	0,32	0,4	0,8	0,6	0,30	-
Т19	0,22	0,28	1,2	0,85	1,1	0,32	-

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8
15XHC	0,12-0,18	0,17-0,37	0,4-0,7	0,7-1,0	-	-	$2 \cdot 10^{-7}$
T-1HC	0,04	0,19	0,45	0,15	-	0,25	$2,5 \cdot 10^{-7}$
T-2HC	0,03	0,22	0,50	0,18	-	0,16	$4 \cdot 10^{-7}$
T-3HC	0,09	0,20	0,48	0,14	-	0,12	$2 \cdot 10^{-7}$
УТЕ-4	0,28	0,18	0,6	0,9	0,3	0,25	-
УТЕ-5	0,30	0,22	0,5	0,8	0,4	0,25	-
УТЕ-6	0,33	0,33	0,7	0,9	0,4	0,15	-
УТЕ-7	0,35	0,22	0,8	0,7	0,5	0,12	-
УТЕ-8	0,40	0,20	0,5	0,9	0,6	0,18	-
УТЕ-9	0,42	0,19	0,4	0,8	0,7	1,19	-
УТЕ-10	0,43	0,35	0,4	1,0	0,7	0,20	-
УТЕ-17	0,45	0,31	0,3	1,0	0,8	0,22	-
УТЕ-18	0,18	0,33	0,3	0,9	0,9	0,18	-
УТЕ-19	0,24	0,29	0,4	0,7	0,9	0,19	-

Примечание: 15XHC, T-3HC, T-2HC – стали с наноструктурным покрытием.
НСП - толщина наноструктурного покрытия.

Звуковой импульс фиксировали микрофонным капсюлем МК-102. Этот импульс преобразуется в электрический сигнал, усиливается предусилителем МК-102 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. Для измерения частотного спектра звукового сигнала предназначен блок октавных фильтров ОФ-101.

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

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

Звуковой импульс от соударения исследуемого образца с ударником (шарик) фиксировали не только шумомером, но и регистрировали с помощью запоминающего осциллографа. Зафиксированный сигнал фотографировали и далее определяли характеристики демпфирования: логарифмический декремент, скорость затухания звука. Относительное рассеяние и внутреннее трение определяли расчетным путем.

В работе решены следующие задачи по оценке свойств материалов:

- исследовали физико-механические свойства металлических материалов (предел прочности σ_b , предел текучести σ_T , относительное сужение ψ , относительное удлинение δ_5 , ударную вязкость a_n , твердость);
- исследовали акустические свойства металлических материалов при соударении (уровень звукового давления, уровень звука);
- используя метод математического планирования экспериментов определяли влияние легирующих элементов на эффект затухания шума соударений;
- определяли вибрационные характеристики сплавов (уровень виброскорости, уровень виброускорения, общий уровень виброскорости, общий уровень виброускорения);
- определяли металлографические параметры (фазовый состав, структурные составляющие, размеры количество неметаллических включений, размеры зерен, химический состав и др.).

В разделе 3 представлена теоретическая часть работы – математическое моделирование звукоизлучения при соударении ударника (шара) с трубой из стали 08кп. Была поставлена задача - определить уровни звукового давления в стандартных полосах частот при соударениях при этом использован энергетический метод. На рисунке 2 представлено моделирование соударения шара и трубы.

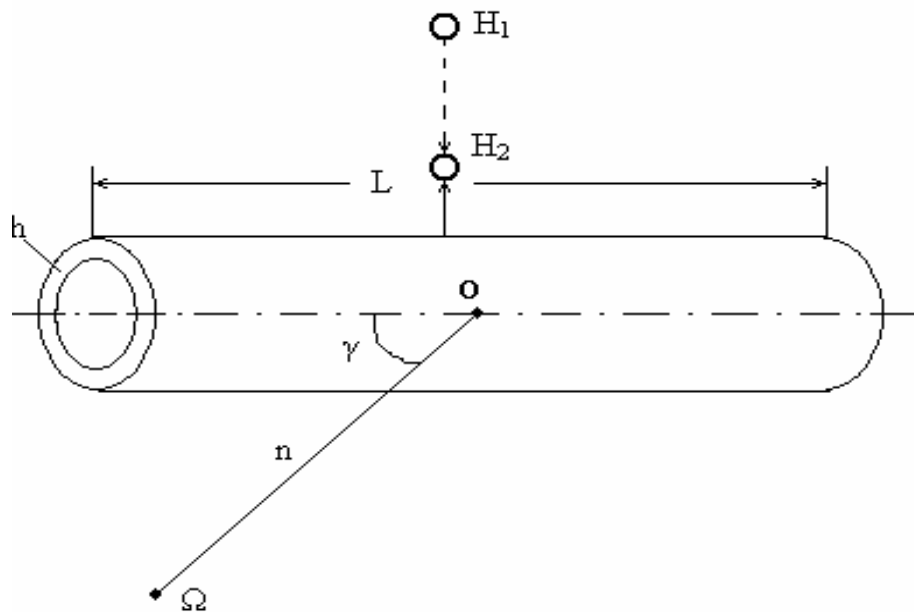


Рисунок 2 - Моделирование соударения шара и трубы

Поскольку соударение происходит в течение очень короткого промежутка времени Δt , стенка оболочки не успевает прийти в движение, в результате чего импульс силы, воздействующий на оболочку при соударении, составляет:

$$\int_{-\frac{\Delta t}{2}}^{\frac{\Delta t}{2}} F(t) dt = M(v_1 + v_2), \quad (1)$$

где v_1 и v_2 – скорости шара в момент соударения с оболочкой и отскока от неё.

Также определено количество резонирующих квазипродольных и квазисдвиговых мод ударного шума:

$$N_k^{\Pi} = \frac{4\Pi S_{об} \pi \kappa^2 \Delta}{C_l^2}; \quad N_k^c = \frac{4\pi S_{об} f \kappa^2 \Delta}{C_r^2}, \quad (2)$$

где $C_r = C_L \sqrt{\frac{1-\nu}{2}}$ – скорость сдвиговой волны, ν – коэффициент Пуассона.

Таким образом, используя приведенные формулы, можно построить угловую характеристику излучения оболочки в данной частотной полосе, либо частотную характеристику уровня излучения в заданной точке пространства.

Интенсивность шума будет затухать во времени $\sim e^{-2\pi f \eta_k^{\Sigma} t} = e^{-62,8t}$. Это означает, что интенсивность уменьшится в 10^6 раз (на 60 дБ, что соответствует стандартному времени реверберации) за время $T = \frac{6 \ln 10}{2\pi f \eta_k^{\Sigma}} = \frac{13,8}{62,8} \approx 0,22$ сек.

Место соударения косвенным образом влияет на полученный результат, поскольку от него зависит высота отскока шарика и тем самым, импульс воздействующей силы.

Для нахождения спектрального состава приложенного импульса определяется спектральная амплитуда плотности силы по формуле:

$$S_F(\omega) = \int_{-\frac{\Delta t}{2}}^{\frac{\Delta t}{2}} F e^{-j\omega t} dt = \frac{F}{-j\omega} e^{-j\omega t} \Big|_{-\frac{\Delta t}{2}}^{\frac{\Delta t}{2}} = F \Delta t \frac{\sin \frac{\omega \Delta t}{2}}{\frac{\omega \Delta t}{2}} \quad (3)$$

где величина $F \Delta t$ дается формулой (2). Интерес представляет, как изменяется функция $\frac{\sin x}{x}$ в области малых значений x (таблица 4).

Таблица 4 - Изменение функции $\frac{\sin x}{x}$ в области малых значений

x	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$\frac{\sin x}{x}$	1	0,998	0,993	0,985	0,974	0,959	0,941

Видно, что вплоть до значения $x \approx 0,3 \div 0,4$ можно принять $\frac{\sin x}{x} \approx 1$ (исходя из условия, что погрешность в вычислении величины $\frac{\sin^2 x}{x^2}$ характеризующей энергетический спектр, не превысит 5%). Это означает, что спектральная плотность силы $S_F(\omega)$ остается практически постоянной по величине $S_F(\omega) = F\Delta t$ при условии $\frac{\omega\Delta t}{2} \leq 0,4$, т.е. вплоть до частоты $f \cong \frac{0,4}{\pi\Delta t}$. При этом первый нуль функции $\sin \frac{\omega\Delta t}{2} / \frac{\omega\Delta t}{2}$, отсекающий основную, энергонесущую часть спектра, определяется из условия $\frac{\omega\Delta t}{2} = \pi$, чему соответствует частота $f_{\text{гп}} = 1/\Delta t$.

На основании теоретических оценок, можно получить, что время соударения упругого шарика радиусом $R_{\text{ш}}$ и массой M с упругой массивной поверхностью составляет:

$$\Delta t = 2,94 \left(\frac{M^2}{K^2 V} \right)^{1/5} \quad (4)$$

где $K = \frac{4}{5D} \sqrt{R_{\text{ш}}}$, $D = \frac{3}{4} \left(\frac{1 - \nu_{\text{ш}}^2}{E_{\text{ш}}} + \frac{1 - \nu_{\text{п}}^2}{E_{\text{п}}} \right)$, $E_{\text{ш}}, \nu_{\text{ш}}$ и $E_{\text{п}}, \nu_{\text{п}}$ – модули Юнга и коэффициенты Пуассона материалов шара и поверхности, ν – скорость шарика в момент соударения. Для того, чтобы оценить порядок величины Δt , рассмотрен стальной шар радиусом $R_{\text{ш}} = 5 \cdot 10^{-3}$ м, падающий на стальную же поверхность с высоты $H_1 = 1$ м. тогда расчет по формулам (4) дает:

$$D = 6,4 \cdot 10^{-12} \frac{\text{М}^2}{\text{Н}}, \quad K = 8,84 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}}{\text{М}^{3/2}}, \quad M = 4,08 \cdot 10^{-3} \text{ кг}, \quad \nu = \sqrt{2gH_1} = 4,43 \frac{\text{М}}{\text{сек}},$$

$$\Delta t = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ сек.}$$

На основании полученной оценки величины Δt можно заключить, что спектральная плотность силы соударения будет равномерной вплоть до частоты $f = \frac{0,4}{\pi\Delta t} = 5100 \text{ Гц}$. Основная, энергонесущая часть спектра будет простираться вплоть до частоты $f_{\text{гп}} = \frac{1}{\Delta t} = 40 \text{ кГц}$, что существенно перекрывает диапазон слышимых частот. Таким образом, воздействие импульса силы должно проявляться во всех стандартных частотных полосах измерения.

В разделе 4 приведены результаты исследования акустических, демпфирующих и физико-механических свойств литых сталей и сплавов.

Проведена оценка виброакустических характеристик часто применяемых для деталей машин, работающих в режиме ударных нагрузений, сталей с высокой пластичностью и свариваемостью – 08, 08кп, 10, 15, 20, 25, 10Г2, 20Г. С целью улучшения демпфирующих свойств, за счет легирования

редкоземельными металлами (РЗМ) были выплавлены стали такие, как Т1, Т2, Т3, Т4, Т5, Т6, Т7, Т8. В таблице 5 приведены химический состав, механические свойства и критические точки исследованных металлических материалов. Наряду со стандартными сталями высокой пластичности и свариваемости 08, 08кп, 15, 20, 25, 10Г2 и 20Г разработаны легированные стали Т1-Т8. Легированные стали отличаются от стандартных не только процентным содержанием углерода, кремния, марганца, хрома, но и добавками церия (0,06-0,15%) и лантана (0,01-0,15%). Разработанные стали Т1-Т8 существенно превосходят по прочностным характеристикам стандартные стали (σ_b , δ) так, например, предел прочности на разрыв (σ_b) у легированных сталей Т2-Т8 составляет 480-585 МПа, что практически в два раза выше, чем у сталей 08кп, 08, 10. В то же время стали, Т1-Т8 не уступают стандартным сталям по пластическим свойствам (δ , Ψ). Содержание таких вредных примесей, как сера и фосфор в разработанных легированных сталях Т1-Т8 не превышают предельную норму 0,035-0,04%.

Попытки найти функциональную связь между демпфированием и другими физико-механическими характеристиками положительного результата не дали, вследствие чего демпфирование принято считать одной из первичных физических характеристик материала.

Исследования амплитуднозависимого демпфирования показали, что высокое рассеяние энергии при значительных амплитудах напряжений обусловлено перемещением относительно легкоподвижных линейных и поверхностных дефектов типа дислокаций и двойников.

Вместе с тем рассеяние энергии вследствие локальной пластической деформации может быть с успехом использовано в сплавах с резко выраженной гетерогенной структурой, состоящей из относительно прочной матрицы и мягких, пластичных включений избыточной фазы. В этом случае пластическая деформация более мягкой фазы при циклическом нагружении не снижает общей прочности сплава, а приводит только к значительному рассеянию энергии для сплавов высокого демпфирования.

К легкоподвижным двумерным дефектам в металлах и сплавах, которые могут быть причиной высокого уровня демпфирования, относятся упругие двойники, межфазные когерентные границы при обратимых мартенситных превращениях, границы доменов в ферромагнетиках и антиферромагнетиках.

В разделе 5 приведены результаты акустических, демпфирующих и физико-механических свойств разработанных биметаллов.

Биметаллы первой группы, размерами 50x50x5 (10) мм изготавливали следующим образом: к листовой стали Ст.20Х, ТЕ-3 клеем «Момент» прикрепляли алюминиевый лист или стальной лист (таблица 6, 7).

Биметалл ТЕБМ-1 (50x50x10 мм) состоит из двух пластин: из стали ТЕ-3 (50x50x2,5 мм) и алюминиевого сплава Ал2 (50x50x2,5 мм). Обозначение ТЕБМ-1 (С) означает, что соударение происходит по стали ТЕ-3, а не по алюминиевому сплаву Ал2. Обозначение биметалла ТЕБМ-1 (А) означает, что соударение с ударником происходит по алюминиевому сплаву Ал2. Биметалл ТЕБМ-2 состоит из двух пластин: сталь 30 (50x50x5 мм) и алюминиевый сплав

Таблица 5 – Акустические, демпфирующие механические свойства исследованных литых сталей и биметаллов

№	Марка стали	УЗД, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							Уровень звука, дБА	$Q^{-1} \cdot 10^{-3}$	σ_b , МПа	a_n , Дж/м ²	Ψ , %	δ_5 , %
		250	500	1000	2000	4000	8000	16000						
1	08	47	41	44	61	75	104	103	106	8,3	315	80	55	25
2	08 кп	46	43	45	60	76	107	105	108	8,4	380	-	60	30
3	10	48	42	46	62	75	106	104	107	9,3	320	70	53	28
4	15	49	42	47	63	72	108	107	110	4,5	410	110	51	25
5	20	44	44	46	64	74	110	108	112	4,1	420	50	55	25
6	25	48	46	45	65	73	111	109	114	3,9	450	80	45	22
7	10Г2	49	47	43	62	72	110	106	110	4,5	430	90	50	22
8	20Г	50	41	44	61	73	109	106	109	5,6	460	90	50	24
9	T1	47	45	47	62	75	107	104	108	5,6	360	90	57	27
10	T2	48	44	48	64	76	109	107	111	5,4	510	95	55	29
11	T3	50	48	49	65	75	107	104	107	10,2	480	101	48	26
12	T4	46	46	47	68	74	105	101	105	10,5	495	110	54	27
13	T5	47	48	48	62	78	102	99	103	12,4	585	90	53	32
14	T6	46	43	44	64	74	103	100	104	11,6	496	95	48	22
15	T7	48	45	47	63	76	109	108	112	9,8	565	85	53	24
16	T8	49	46	48	61	77	108	106	109	6,4	574	87	51	27
17	T1:45	52	48	48	60	75	100	98	101	18,4	250	70	45	22
18	T2:45	51	47	47	62	76	101	100	103	20,1	275	65	40	23
19	T3:45	54	46	46	63	77	102	99	102	18,5	265	65	40	25
20	T4:45	52	45	45	61	74	103	100	103	22,6	280	75	51	21
21	T5:45	49	48	47	63	73	98	96	98	23,4	295	70	52	20
22	T6:45	48	49	48	62	72	100	97	100	22,5	300	60	47	25
23	T7:45	50	44	46	61	73	103	100	103	16,1	210	75	38	26
24	T8:45	49	46	47	60	74	103	99	103	17,5	225	68	40	24
25	20:45	50	43	48	63	75	105	101	105	15,8	215	70	42	22
26	08кп:45	51	48	49	61	75	103	100	103	16,4	215	55	44	28

Ал2 (50x50x5 мм). Обозначение ТЕБМ-2 (С) означает, что соударение происходит по стальной пластине из стали 30, а не по алюминиевому сплаву Ал2. Обозначение ТЕБМ -2 (А) означает, что соударение с ударником (шаром) происходит по пластине из алюминиевого сплава Ал2, а не по стальной пластине.

Биметалл ТЕБМ-3 состоит из двух пластин (из стали ТЕ-3). Биметалл ТЕБМ-4 (50x50x10 мм) состоит из двух пластин стали 30 (50x50x5 мм). Биметалл ТЕБМ-5 (50x50x10 мм) состоит из двух пластин стали 20Х (40x40x2,5 мм).

Биметаллы второй группы на основе стали 20Х: ТЕБМ-6; ТЕБМ-7; ТЕБМ-8; ТЕБМ-9; ТЕБМ-10; ТЕБМ-11.

Биметалл ТЕБМ-9 состоит из двух пластин из стали 20Х размерами 50x50x2,5 мм.

Биметалл ТЕБМ-10 состоит из двух пластин из стали 20Х размерами 50x50x2,5 мм. Обе пластины соединяли клепкой.

Биметалл ТЕБМ-11 состоит из двух пластин из стали 20Х размерами 50x50x2,5 мм. Обе пластины соединяли сваркой.

Биметалл ТЕБМ-6 состоит из двух пластин из стали 20Х размерами 50x50x2,5 мм. Обе пластины соединяли клеем. Одна из пластин подвергалась термической обработке: ТЕБМ-6 (Н) нормализации, 850°C, другая пластина ТЕБМ-6 (О) подвергалась отжигу. Соударение осуществлялось по обеим пластинам.

Биметалл ТЕБМ-7 состоит из двух пластин из стали 20Х размерами 50x50x2,5 мм. Обе пластины соединяли склеиванием. Одна из пластин подвергалась термообработке – отжигу (ТЕБМ-7 (О)), другая пластина подвергалась нормализации, 850°C.

Биметалл ТЕБМ-8 состоит из двух пластин из стали 20Х размерами 50x50x2,5 мм. Обе пластины соединяли склеиванием. Одна из пластин подвергалась термообработке – отжигу, другая подвергалась нормализации.

В таблице 6 представлены характеристики биметаллов, созданных на основе стали 20Х, ТЕ-3, сплава Ал2.

Для получения биметаллов этой группы, изготавливали механическим способом (фрезеровка, строгание, шлифовка, полировка) образцы размерами 50x50x2,5 мм из сталей ТЕ-3, 20Х, 30, 18ХГТ, Ал2.

Полученные образцы соединяли специальным клеем для металлических образцов и выдерживали в течении 24 часов при комнатной температуре. Получали биметаллы размерами 50x50x5 мм, которые сопоставимы с размерами образцов, использованных по методикам Московского института стали и сплавов (МИСиС), Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева (КазНТУ), Владимирского технического университета (ВТУ), а также отвечающие требованиям Кремера Х. для соударяемых исследуемых металлических материалов.

Таблица 6 – Химический состав исследованных биметаллов

№ п/п	Марка биметалла	Химический состав, % вес							Размеры, мм
		C	Si	Mn	Cr	Ti	P3M	Al	
1	ТЕБМ-1								50x50x10
	Лист-сталь ТЕ-3	0,22	0,28	1,2	0,85	1,1	0,32	-	50x50x5
	Лист-алюминий Al-Si Ал2	-	10-12	-	-	-	-	ост	50x50x5
2	ТЕБМ-2								50x50x10
	Лист-сталь30	0,17-0,23	0,17-0,37	0,5-0,8	0,7-1,0	-	-	-	50x50x5
	Лист-алюминий Al-Si Ал2	-	10-12	-	-	-	-	ост	50x50x5
3	ТЕБМ-3								50x50x10
	Лист-сталь ТЕ-3	0,22	0,28	1,2	0,85	1,1	0,32	-	50x50x5
	Лист-сталь ТЕ-3	0,22	0,28	1,2	0,85	1,1	0,32	-	50x50x5
4	ТЕБМ-4								50x50x10
	Лист-сталь Ст-20Х	0,17-0,23	0,17-0,37	0,5-0,8	0,7-1,0	-	-	-	50x50x5
	Лист-сталь 20Х	0,27-0,35	0,17-0,37	0,5-0,8	0,25	-	-	-	50x50x5
5	ТЕБМ-5								40x40x10
	Лист-сталь 20Х	0,17-0,23	0,17-0,37	0,5-0,8	0,7-1,0	-	-	-	40x40x5
	Лист-сталь 20Х	0,17-0,23	0,17-0,37	0,5-0,8	0,7-1,0	-	-	-	40x40x5

Таблица 7 – Характеристика исследованных биметаллов на основе стали 20Х

Марка биметалла	Основной слой, маркировка	Плакирующий слой, маркировка	Термообработка		Размеры биметалла, (составляющих)	Способ соединения биметаллов
			Основной слой	Плакирующий слой		
1	2	3	4	5	6	7
ТЕБМ-6	Ст.20Х ТЕБМ-6(Н)	Ст.15Х ТЕБМ-6(О)	Нормализация 850°C	отжиг, 880°C	50x50x5 (50x50x2,5 50x50x2,5)	склеивание
ТЕБМ-7	Ст.20Х ТЕБМ-7(Н)	Ст.20Х ТЕБМ-7(О)	Нормализация 850°C	отжиг	50x50x5 (50x50x2,5 50x50x2,5)	-//-
ТЕБМ-8	Ст.20Х ТЕБМ-8(О)	Ст.20Х ТЕБМ-8(Н)	Отжиг, 880°C	нормализация, 850°C	50x50x5 (50x50x2,5 50x50x2,5)	-//-

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7
ТЕБМ-9	Ст.20Х ТЕБМ-9	Ст.18ХГТ ТЕБМ-9	Прокатка	Прокатка	50x50x5 (50x50x2,5 50x50x2,5)	-//-
ТЕБМ-10	Ст.20Х ТЕБМ-10	15 ТЕБМ-10	Прокатка	Прокатка	50x50x5 (50x50x2,5 50x50x2,5)	клепка
ТЕБМ-11	Ст.20Х ТЕБМ-11	20 ТЕБМ-11	Прокатка	Прокатка	50x50x5 (50x50x2,5 50x50x2,5)	сварка

Таким образом, биметалл (18ХГТ+Ал2) размерами 50x50x5 мм был получен из пластин стали 18ХГТ (50x50x2,5) и алюминиевого сплава Ал2; биметалл (20Х+Ал2) был получен из пластин стали 20Х (50x50x2,5) и сплав Ал2; биметалл (15Х+Ал2) был получен соединением пластин из стали 15Х (50x50x2,5) и алюминиевого сплава Ал2; биметалл (Ал2+Ал2) был получен соединением (склеивание) двух образцов из алюминиевого сплава Ал2 (50x50x2,5); биметалл (18ХГТ+20) был получен из пластин стали 18ХГТ (50x50x2,5) и стали 15Х (50x50x2,5); биметалл (18ХГТ+45) был получен из пластин стали 18ХГТ (50x50x2,5) и стали 20Х (50x50x2,5) методом также склеивания; биметалл (15Х+20Х) получен из пластин стали 15Х (50x50x2,5) и стали 20Х (50x50x2,5) также склеиванием; биметалл (15Х+15Х) был получен из образцов стали 15Х (50x50x2,5); биметалл (20Х+20Х) был получен из двух образцов сталей 20Х (50x50x2,5); биметалл (20Х+Ал2+20Х) был получен из трех образцов (50x50x2,5) из стали 20Х и алюминиевого сплава Ал2, при этом алюминиевый сплав располагали посередине двух пластин из стали 20Х; биметалл (18ХГТ+Ал2+18ХГТ) также получали как и предыдущий из трех пластин: двух пластин из стали 18ХГТ (50x50x2,5) и одной пластины Ал2; биметалл (18ХГТ+Ал2+20Х) получали соединением трех пластин из разных материалов: стали 18ХГТ (50x50x2,5), стали 20Х (50x50x2,5) и алюминиевого сплава Ал2 (50x50x2,5); биметалл (18ХГТ+Ал2+15Х) получали также как и предыдущий из трех разных материалов: стали 18ХГТ (50x50x2,5), стали 15Х (50x50x2,5) и алюминиевого сплава Ал2 (50x50x2,5).

В таблице 9 представлены уровни звука и уровни звукового давления при соударении биметаллических образцов с ударниками диаметрами 6,5; 8,5; 11,5 мм. Как видно, амплитудно-зависимое демпфирование звукоизлучения биметаллов (АЗДЗБМ) наблюдается на биметаллических образцах (20Х+Ал2), (15Х+Ал2), (18ХГТ+Ал2+15Х) по характеристикам уровня звука. Амплитудно-зависимое демпфирование звукоизлучения биметаллов заключается в том, что при соударении ударниками разной массы (диаметра) излучается шум неадекватного характера (НХ), суть которого состоит в том, что ударник большей массы генерирует шум меньшего уровня (или одинакового) по сравнению с ударником меньшего диаметра (массы). Так, у образца (20Х+Ал2) при соударении ударником 8,5 мм (удар по пластине Ал2 создается шум уровня 70

дБА, т.е. столько же, сколько и при соударении ударником 11,5 мм. Хотя должно быть таким образом, что уровень звука при соударении ударником 11,5 мм ожидается выше по значениям, чем при соударении ударником диаметром 8,5 мм.

Амплитудно-зависимое демпфирование звукоизлучения биметаллов в частотном диапазоне наблюдается практически у всех образцов. При этом особенно часто наблюдается амплитудно-зависимое демпфирование звукоизлучения биметаллов при соударениях ударниками 11,5 мм и 8,5 мм, хотя наиболее интересные значения амплитудно-зависимого демпфирования звукоизлучения биметаллов наблюдаются при соударениях ударником 11,5 мм, так как это самый массивный ударник, поэтому проявление эффекта Сулеева-Утепова весьма интересно с научной точки зрения для биметаллов (18ХГТ+Ал2), (18ХГТ+Ал2), (15Х+Ал2), (Ал2+Ал2), (18ХГТ+15Х), (18ХГТ+20Х), (18ХГТ+18ХГТ), (15Х+20Х), (15Х+15Х), (20Х+20Х), (20Х+Ал2+20Х), (18ХГТ+Ал2+18ХГТ), (18ХГТ+Ал2+18ХГТ), (18ХГТ+Ал2+15Х).

Как видно из таблицы 8, пониженным звукоизлучением обладают биметаллы (20Х+Ал2), Т3-Т3 (99-96 дБА); Т7-20Х (93-94 дБА); Т4-Т4 (93 дБА); Т5-Т5 (90-92 дБА); Т5-Ал2-15Х (92-94 дБА). Повышенные значения звукоизлучения наблюдаются у биметаллов 20Х-Ал2 (104 дБА); 15Х-Ал2 (104 дБА); Ал2-20Х (104 дБА). Для практических задач по борьбе с шумом, например, для галтовочных барабанов можно рекомендовать биметаллические пластины для стенок барабана: Т3-Т3; Т7-20Х.

Следует отметить, что амплитудно-зависимое демпфирование звукоизлучения биметаллов у образца Т4-Т4 наблюдается практически на каждой частоте и по уровню звука.

Таблица 8 – Акустические свойства биметаллов

Марка биметалла	СС	d, мм	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровень звука, дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
18ХГТ+Т7	Т7	11,5	46	48	52	47	51	45	56	68	97	96	99
		8,5	43	47	45	48	49	44	47	61	98	96	98
		6,5	50	46	44	48	51	46	47	55	99	100	102
	18ХГТ	11,5	45	41	48	49	44	45	57	53	96	99	99
		8,5	44	45	46	47	44	47	45	58	98	98	101
		6,5	56	52	48	49	48	41	47	56	97	101	101
20Х+Ал2	20Х	11,5	49	44	49	42	41	49	48	61	99	99	102
		8,5	45	54	49	47	44	40	48	58	100	102	103
		6,5	46	54	50	50	48	47	52	53	100	101	103

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Ал2	11,5	43	46	42	44	40	44	47	52	101	104	104
		8,5	41	49	47	42	41	41	42	53	100	103	103
		6,5	50	49	44	42	47	49	50	52	99	99	102
15X+ Ал2	15 X	11,5	50	50	59	49	47	47	45	55	101	101	104
		8,5	49	44	48	40	45	49	46	55	100	99	103
		6,5	52	49	57	41	57	48	49	53	101	100	103
	Ал2	11,5	53	57	50	42	49	50	48	54	102	101	104
		8,5	54	52	45	45	54	50	52	52	99	68	102
		6,5	58	50	54	48	64	50	46	55	99	72	102
Т3-Т3		11,5	51	48	41	52	52	47	47	51	96	94	96
		8,5	44	52	48	50	48	49	49	51	94	92	94
		6,5	48	48	48	48	42	48	52	56	92	93	94
18ХГТ +20Х	18Х ГТ	11,5	46	49	47	46	41	47	44	55	101	102	104
		8,5	57	55	48	54	48	44	45	53	100	103	103
		6,5	52	56	49	48	47	47	48	57	100	100	103
	20Х	11,5	42	50	50	52	44	48	50	59	101	103	104
		8,5	48	52	48	49	48	49	48	51	99	100	102
		6,5	55	55	59	47	47	48	49	55	103	103	106
Т7 +20Х	Т7	11,5	43	50	56	48	49	51	46	53	90	90	93
		8,5	48	54	51	57	55	52	48	54	92	91	94
		6,5	49	52	50	50	54	49	52	55	90	91	93
	20Х	11,5	45	52	44	51	47	44	44	55	99	98	101
		8,5	44	49	47	48	46	55	46	56	100	99	103
		6,5	51	47	48	55	60	58	45	54	96	96	99
18ХГТ +18ХГТ		11,5	55	48	50	44	57	49	47	46	104	101	104
		8,5	56	46	51	47	52	48	49	52	103	102	104
		6,5	62	55	47	50	54	46	50	51	100	101	103
15Х+ 20Х	15Х	11,5	44	48	46	48	49	48	52	58	104	100	104
		8,5	45	50	55	50	48	52	48	62	100	99	102
		6,5	51	51	55	49	50	51	49	61	99	96	100
	20Х	11,5	49	46	48	48	50	50	50	58	102	102	105
		8,5	51	49	49	47	48	48	50	61	101	102	104
		6,5	49	48	48	48	46	49	52	51	99	99	102
Т4-Т4		11,5	43	52	49	60	48	48	53	62	92	91	93
		8,5	56	50	49	55	46	50	51	52	93	90	93
		6,5	56	49	48	48	48	49	46	54	93	91	93
Т5-Т5		11,5	46	48	57	57	49	47	45	58	90	92	92
		8,5	49	48	48	49	52	50	41	54	91	90	91
		6,5	55	49	55	56	55	48	41	57	90	88	90

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
20X+Ал2 +20X		11,5	48	49	44	54	49	42	48	58	103	102	105
		8,5	46	49	43	56	57	42	52	52	101	101	104
		6,5	44	47	49	44	48	49	53	55	99	97	99
18ХГТ+Ал2 +18ХГТ		11,5	47	48	44	58	55	41	50	62	103	102	105
		8,5	55	49	46	54	49	48	49	52	100	101	103
		6,5	59	54	58	62	58	53	51	53	99	98	102
18ХГТ +Ал2+ 20X	Ал2	11,5	56	53	52	56	49	41	47	64	103	103	106
		8,5	55	58	55	55	48	42	51	55	101	100	102
		6,5	54	58	56	52	49	47	52	53	100	101	103
	20 X	11,5	44	46	48	50	48	48	50	63	101	102	104
		8,5	56	54	55	58	47	51	49	54	99	99	102
		6,5	48	52	52	52	48	52	41	55	98	98	101
Т5 +Ал2 +15X	Ал2	11,5	49	48	48	46	49	52	46	65	90	92	93
		8,5	48	46	49	48	48	48	45	54	91	93	93
		6,5	47	49	50	49	47	49	44	55	91	94	94
	15X	11,5	49	48	46	46	48	48	43	56	91	90	93
		8,5	48	49	45	48	48	49	42	54	90	92	92
		6,5	46	48	48	47	48	48	41	52	89	92	92

В разделе 6 приведены результаты исследований акустических, демпфирующих, физико-механических характеристик порошковых металлических материалов.

В таблице 9 и 10 представлены химический состав, механические и акустические свойства порошковых металлических материалов, а также состав и свойства конструкционных порошковых сталей после спекания и термической обработки.

Способность тормозить скорость звука порошковым материалом показано в табл.10. Видно, что для снижения производственного шума соударения можно рекомендовать ПММ Т14П (0,75% Cr; 1,0% Mn; 0,4% Si; 0,30% Cu; 0,25% Al; остальное - железо); Т13П (0,9% Cr; 0,5% Mn; (0,3-0,5)% Si; 0,30% Cu; 0,25% Al; остальное - железозо); Т15П (1,0% Cr; 1,1% Mn; 0,4% Si; 0,3% Cu; 0,25% Al; остальное - железо).

Уже при насыпании порошка в форму поверхностные слои частиц (как правило, обогащенные примесями или обладающие искаженной кристаллической решеткой, в результате чего физические свойства приповерхностного слоя частицы могут значительно отличаться от свойств основного материала) воспринимают контактную нагрузку. Поверхность порошинок характеризуется шероховатостью (часто значительной) и наличием микроскопических или субмикроскопических трещин. В результате контакт между соприкасающимися частицами при отсутствии внешнего давления возможен только в отдельных точках.

Таблица 9 - Химический состав, механические и акустические свойства порошковых металлических материалов

Марка сплава	Содержание ПММ						Акустические свойства, дБ							Уровень звука, дБА	$Q^{-1} \cdot 10^{-3}$	σ_b , МПа	δ_s , %	Ψ , %	$a_{нр}$, Дж/м ²
	Cr	Mn	Si	Cu	Al	Fe	250	500	1000	2000	4000	8000	16000						
Т-13П	0,9	0,5	0,3-0,5	0,30	0,25	ост	49	44	50	62	70	90	88	91	22,5	150	5	4	20
Т-14П	0,75	1,0	0,4	0,3	0,25	ост	50	46	52	64	71	91	86	91	25,4	158	8	6	15
Т-15П	1,0	1,1	0,5	0,3	0,25	ост	52	48	54	61	72	92	84	92	26,5	165	10	2	16
Т-16П	1,5	1,5	0,5	3,5	0,25	ост	54	52	56	63	74	94	89	94	28,4	161	9	6	26
СП-10	-	-	0,6	0,3	0,25	ост	52	50	54	59	70	96	92	96	18,5	181	6	4	28
СП-30	-	-	0,5	0,3	0,25	ост	50	48	54	62	71	99	94	99	18,6	182	8	6	30
СП70	-	-	0,4	0,3	0,25	ост	59	52	61	60	76	96	93	96	2,4	186	9	8	35
СП90	-	-	0,5	0,3	0,25	ост	49	47	51	66	72	97	95	98	21,5	191	12	10	32

24

Таблица 10 - Состав и свойства конструкционных порошковых сталей после спекания и термической обработки

Марки стали	Содержания элементов, об.%			После спекания				После термической обработки					L_a , дБА
	углерод	хром	прочие	δ_b , МПа	σ , %	α , кДж/м ²	НВ, МПа	Тем.заковки °С	δ_b , МПа	δ , %	α , кДж/м ²	HRC	
СП-10	0,2	-	Si,Mn,S,P	120/250	8/18	350/700	700-800/900-1300	-	-	-	-	-	96
СП-30	0,3	-	»	160/250	8/18	350/700	700-800/900-1300	-	-	-	-	-	99
СП-70	0,5-0,8	-	»	200/360	8/15	300/600	700-900/1100-1500	820-840**/820-840	350/660	2/10	100/450	30-35/45-52	94
СП-90	0,8-1,1	-	»	200/450	4/10	220/450	800-1000/1200-1880	820-840-/820-840	450/1000	1/3	50/350	33-40/50-56	94

В связи с этим действительные контактные давления в силу малости начальных поверхностей соприкосновения (0,001-0,01 % от общей поверхности контактирующих частиц) достигают таких значений, при которых возникают пластические деформации или местные разрушения, т.е. напряженное состояние материала частицы в окрестностях зоны контакта должно быть близким к предельному. По подсчетам, при среднем напряжении в массе песка 0,1 МПа наибольшее контактное давление составляет 2000 МПа. При таких давлениях первоначальный точечный контакт переходит в контакт по некоторой поверхности, хотя и малой. При разработке демпфирующих порошковых металлических материалов прессование проводили таким образом, чтобы плотность порошка была различной. Такого в литых сплавах достичь невозможно.

Контактная поверхность исследована визуально (после разрушения прессовки по отпечаткам на частицах, особенно имеющих сферическую форму) и путем измерения электросопротивления порошкового тела по формуле

$$\sqrt{S_k} = (\lambda_k / \lambda) \sqrt{S_H}, \quad (5)$$

где S_H – номинальное сечение порошкового тела, S_k – контактная поверхность в номинальном сечении порошкового тела; λ – удельная электропроводность (табличная или измеренная для компактного беспористого материала); λ_k – контактная (реальная) удельная электропроводность пористого порошкового тела.

Сущность процесса прессования для получения демпфирующего материала заключается в деформировании некоторого объема сыпучего порошкового тела переменным обжатием, при котором происходит уменьшение первоначального объема и формирование заготовки (прессовки) заданных формы, размеров и свойств. Объем порошкового тела при прессовании изменяется в результате смещения отдельных частиц, заполняющих пустоты между ними, и деформации частиц.

В разделе 7 приведены результаты исследования акустических, демпфирующих и физико-механических характеристик сталей с наноструктурным покрытием. В таблице 11 представлены химический состав исследованных сталей с наноструктурным покрытием

Таблица 11 - Химический состав исследованных сталей с наноструктурным покрытием

№ п/п	Сталь	C	Si	Mn	Cr	Ni	PЗМ	Fe	НСП, М
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	33ХС	0,32	1,20	0,55	1,45	0,3	-	ост.	$1,2 \cdot 10^{-7}$
2	20Л	0,22	0,35	0,65	$\geq 0,20$	$\geq 0,30$	-	ост.	$2,6 \cdot 10^{-7}$

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	18X2H4BA	0,16	0,16	0,50	1,87	3,82	0,14% Mn 0,07%V 0,87%W	ост.	$2,3 \cdot 10^{-7}$
4	25ПС	0,26	0,17	0,7	0,25	0,25	-	ост.	$2,7 \cdot 10^{-7}$
5	T-9H	0,26	0,4	1,3	-	1,5	$\leq 0,02$	ост.	$1,2 \cdot 10^{-7}$
6	T-10H	0,20	3,0	2,0	-	1,2	$\leq 0,02$	ост.	$2,5 \cdot 10^{-7}$
7	T-11H	0,31	1,5	1,1	-	0,6	$\leq 0,02$	ост.	$2,2 \cdot 10^{-7}$
8	T-12H	0,25	1,6	2,6	-	0,6	$\leq 0,02$	ост.	$2,6 \cdot 10^{-7}$

В таблице 12 показаны акустические и механические свойства сталей с наноструктурным покрытием.

Таблица 12 - Акустические и механические свойства сталей с наноструктурным покрытием

Марка стали	УЗД, дБ, в октавном полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							Уровень звука, дБА	$Q \cdot 10^{-3}$	σ_b , МПа	$a_{нч}$, Дж/см ²	Ψ , %	δ_5 , %
	250	500	1000	2000	4000	8000	16000						
33ХС(Н)	47	44	45	60	75	108	106	110	4,5	900	80	70	40
20Л(Н)	46	42	47	61	71	107	105	109	5,8	450	50	55	25
18X2H4 BA(Н)	46	43	45	62	72	109	106	111	6,2	850	80	80	50
25ПС(Н)	45	44	46	62	74	110	108	112	8,5	500	60	60	27
T-9(Н)	42	40	43	63	73	100	98	101	18,5	950	90	70	25
T-10(Н)	44	43	47	61	72	99	96	99	20,4	1050	100	75	28
T-11(Н)	47	45	48	63	73	97	95	98	19,5	980	85	80	30
T-12(Н)	46	44	49	64	74	96	94	97	18,5	960	95	90	27

В таблице 13 представлены вибрационные характеристики образцов (пластины размером 50x50x5 мм) из хромокремнистых сталей Т-9, Т-10, Т-11, Т-12, а также Т-9НС, Т-10НС, Т-11НС, Т-12НС после соударения с шарами-ударниками диаметрами $d=9,5$ мм, $d=12,7$ мм, $d=15,2$ мм и $d=18,3$ мм.

Одной из задач исследования являлось получение и исследование наноструктурных покрытий на поверхности сталей с целью повышения демпфирующих свойств.

Среди методов формирования наноструктурных покрытий одним из перспективных является процесс вакуумно-дугового ионноплазменного осаждения, получивший в мировой практике наименование процесса arc-PVD.

Таблица 13 – Вибрационные характеристики разработанных сталей Т-9, Т-10, Т-11, Т-12, Т-9НС, Т-10НС, Т-11НС, Т-12НС

№ п/п	Марка стали	Диаметр шара-ударника, d, мм	Уровни виброускорения, дБ, в октавных полосах со средне-геометрическими частотами, Гц											ОУВУ, дБ
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	31500	
1	Т-9	9,5	69	72	79	66	60	56	59	72	88	84	86	95
		12,7	72	79	82	74	75	60	55	69	66	65	68	98
		15,2	77	66	69	60	62	58	55	60	59	56	54	110
		18,3	68	60	59	63	63	60	94	87	80	89	92	100
2	Т-10	9,5	64	62	73	66	56	59	57	60	59	62	66	115
		12,7	56	57	64	66	62	59	60	64	65	59	62	124
		15,2	90	110	93	91	82	69	64	63	61	64	68	127
		18,3	112	108	94	90	89	79	66	63	61	60	64	126
3	Т-11	9,5	72	85	75	59	58	55	61	60	59	57	56	98
		12,7	97	82	73	77	68	66	69	67	64	55	59	100
		15,2	70	101	104	72	64	66	69	60	59	56	59	108
		18,3	92	114	89	63	64	75	83	88	83	86	84	122
4	Т-12	9,5	76	86	78	51	58	60	64	58	60	58	54	89
		12,7	94	84	80	74	70	72	69	72	69	59	62	96
		15,2	70	97	92	72	62	66	59	61	57	60	64	99
		18,3	92	118	86	62	69	76	88	89	84	80	85	120
5	Т-9НС	9,5	66	70	68	59	57	55	54	68	74	79	80	100
		12,7	69	76	80	71	69	65	60	62	61	62	67	96
		15,2	71	60	66	58	61	59	54	59	64	61	55	108
		18,3	66	59	54	62	60	59	78	81	79	75	87	101
6	Т-10НС	9,5	62	61	68	67	59	60	52	59	55	59	64	105
		12,7	59	55	62	64	60	61	59	67	61	64	61	104
		15,2	88	92	91	89	84	78	61	60	62	65	66	107
		18,3	100	98	92	89	92	78	64	62	60	59	60	106
7	Т-11НС	9,5	65	70	74	79	68	69	60	58	55	59	54	100
		12,7	82	80	79	74	67	62	64	65	62	59	57	94
		15,2	68	78	69	70	66	62	64	58	54	51	57	91
		18,3	87	98	88	67	66	61	74	72	79	84	82	102
8	Т-12НС	9,5	66	79	70	64	69	65	67	62	64	62	61	96
		12,7	88	80	72	66	67	74	70	70	67	61	67	95
		15,2	89	91	75	70	60	69	62	64	62	59	62	97
		18,3	94	100	89	68	71	72	79	78	74	77	81	102

Процессы PVD основаны на генерации вещества в вакуумное пространство камеры с подачей реакционного газа (N_2 , O_2 , CH_4 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, arc-PVD (КИБ – наименование процесса в странах СНГ).

Процессы КИБ основаны на генерации вещества катодным пятном вакуумной дуги сильноточного, низковольтного разряда, развивающегося исключительно в парах материала катода в вакуумной камере, металлический корпус которой служит анодом. Характерной особенностью процессов КИБ является высокая химическая активность испаряемого вещества, состоящего из высокоионизированного потока низкотемпературной плазмы (степень ионизации может достигать 90÷95 %). Субстрат и осаждаемый конденсат подвергается интенсивной бомбардировке ионами испаряемого металла, что приводит к частичному распылению приповерхностных слоев субстрата и повышению температуры в зоне формирования покрытия. В результате резко возрастает подвижность атомов на поверхности субстрата, происходит дополнительная активация осаждаемого конденсата, формируется прочная адгезионная связь между покрытием и субстратом.

Процессы КИБ отличаются высокой производительностью в десятки раз превышающей производительность процессов CVD, что связано с возможностью существенного ускорения высокоионизированного потока ионов путем приложения отрицательного потенциала (относительно корпуса камеры) к субстрату или значительного повышения его плотности и гомогенности путем применения специальных плазмо-оптических магнитных систем. Процессы КИБ позволяют осаждать покрытия при существенно относительно низких температурах (до 600-700°C), что в сочетании с высокой скоростью и уменьшенным временем осаждения конденсата позволяет избежать или существенно заблокировать интердиффузионные процессы на границах раздела «покрытие-субстрат», предельно снизить вероятность разупрочнения субстрата. Кроме того, процессы КИБ являются экологически безопасными.

Процесс КИБ включает в себя следующие этапы:

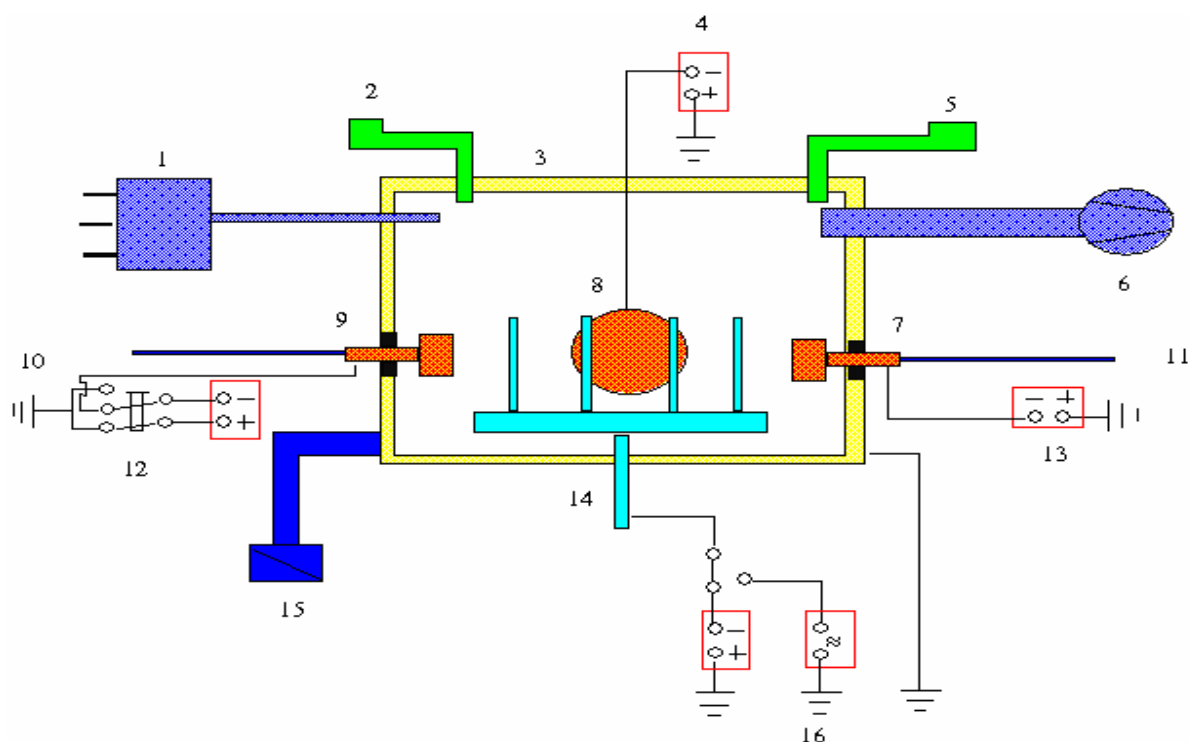
- нагрев субстрата (термоактивация) посредством электронной и ионной бомбардировки;
- химико-термическое плазменное азотирование субстрата (для инструментов из быстрорежущей стали);
- ионная обработка (очистка поверхности путем распыления);
- ионно-ассистированное осаждение функциональных слоев покрытия.

Для реализации основных положений по формированию многофункциональных покрытий на рабочих поверхностях сталей была использована специальная установка на основе модернизированного вакуумно-дугового агрегата ННВ-6.6-ИЗ (Московский институт стали и сплавов).

В частности, установка позволяет сепарировать нейтральные частицы (микрокапельная фаза). Сепарация капельной составляющей производится в результате отклонения заряженных частиц ионного потока (ионы, электроны) мощным магнитным полем. Кроме того, сепаратор может выполнять роль ускорителя плазменного потока, служить источником электронов для термоакти-

вазии инструмента и источником высокозаряженных ионов газа (например, азота) для стимулированной химико-термической обработки инструмента.

Принципиальная схема универсальной вакуумно-дуговой установки представлена на рисунке 3, схема сепаратора-ускорителя показана на рисунке 4.



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

Рисунок 3 - Принципиальная схема вакуумно-дуговой установки универсального назначения

Источник сепарированной плазмы (рисунок 4) состоит из плазмоведа, который представляет собой часть тора с углом 120° . Внутренний диаметр тора равен 200 мм. С наружной стороны плазмоведа расположена электромагнитная катушка. На входе плазмоведа располагается катодный узел с закрепленным на нем катодом, который смещен от центра плазмоведа таким образом, что он находится относительно центра тора на радиусе $R_0 = \sqrt{r \cdot R}$, где r и R соответственно малый и большой радиусы стенок плазмоведа. На противоположном конце плазмоведа располагается анод дугового разряда, которым могут служить стенки вакуумной камеры. На корпус плазмоведа подается положительное или отрицательное напряжение.

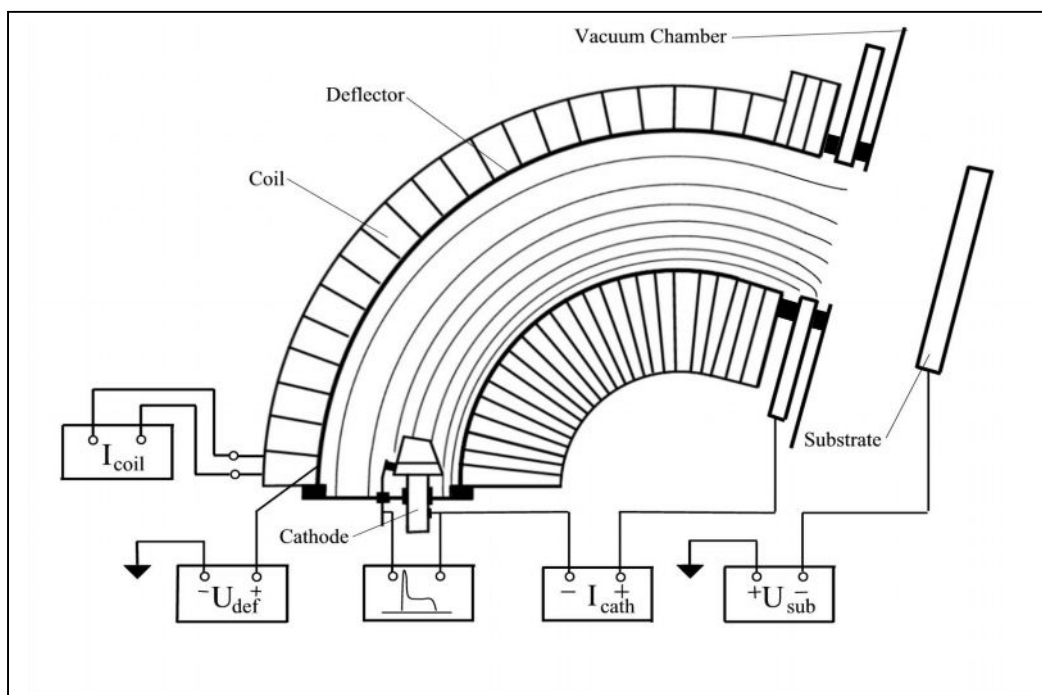


Рисунок 4 - Источник сепарированной плазмы

При пропускании тока через катушку внутри плазмоведа создается равномерное по длине магнитное поле. Величина напряженности магнитного поля на осевой линии тора составляет около 600 эр. Дуговой разряд зажигается между катодом и анодом и обеспечивает прохождение электронного тока дуги через плазму, сформированную внутри плазмоведа. Поскольку электронная компонента плазмы замагничена, то силовые линии магнитного поля, пересекающие катод и проходящие вблизи оси плазмоведа принимают потенциал близкий к потенциалу катода, а силовые линии вблизи стенок плазмоведа – потенциал стенок. Таким образом, в плазме создается электрическое поле, перпендикулярное к стенкам плазмоведа. Электрическое поле обеспечивает дрейф ионов от стенок или к стенкам плазмоведа – в зависимости от полярности и величины напряжения, приложенного к стенкам. Таким образом, ионизованная компонента плазмы транспортируется вдоль силовых линий магнитного поля по плазмоводу к выходу. Тогда как микрочастицы и нейтральная компонента плазмы осаждаются на стенках плазмоведа.

С учетом низкой электропроводности субстратов из градиентной керамики была разработана специальная технология синтеза покрытий на основе использования специальных источников низко- и среднеэнергетической плазмы (газовой и газометаллической), разделения процессов термоактивирования и очистки поверхности субстрата, гашения микродуг и сепарации капельной составляющей, особенно при использовании элементов с относительно низким атомным весом (Al, Ti и др.).



Рисунок 5 - Сравнительные характеристики уровней шума и предела прочности исследованных материалов.

Полученные наноструктурные покрытия на поверхности сталей обеспечили снижение уровня шума при соударениях.

Нанопокрывание поверхности исследованных сталей осуществляется поэтапно (послойно) по 20нм, общая толщина покрытий достигает 400нм-2мкм. Исследование акустических характеристик инструментальных сталей показало, что стали с нанопокрыванием (Т10(НС), Т11(НС), Т12(НС)) при соударении генерируют шума на 5-9 дБА ниже, чем без покрытия. Исследование демпфирующих свойств сталей показал, что образцы с нанопокрываниями (Т10(НС), Т11(НС), Т12(НС)) имеют повышенные демпфирующие свойства и пониженное звукоизлучение.

На рисунке 5 представлены сравнительные характеристики уровней шума и предела прочности при растяжении исследованных литых, биметаллических, порошковых и наноструктурных материалов. Как видно, у каждого материала свои преимущества. Высокие демпфирующие свойства у биметаллов и ПММ характеризуются с невысокими прочностными свойствами. Средняя демпфирующие свойства у литых и наноструктурных материалов характеризуются средними свойствами демпфирования.

В разделе 8 приведены результаты внедрения научных разработок на производстве.

На заводе ТОО КВОиТ (завод котельно-вспомогательного оборудования и трубопроводов) внедрена вибродемпфирующая сталь Т3 (0,24%С; Si <0,1%; 0,65%Mn; 0,42%Cr; 0,14%Ca; 0,15%La; остальное - железо)

На участке листовой штамповки слесаро-сварочного цеха ТОО «Завод КВОиТ» (г. Алматы) на 200-тонном гидравлическом прессе были испытаны стальные полосы (500x150x2мм) из сталей 08кп, 08ю и Т-3. Операция листовой штамповки – вырубка пуансоном заготовки диаметром 15 мм. Результаты измерения шума представлены в таблице 15.

Экономический эффект составил 419220 тенге.

В испытательной лаборатории ТОО «МунайГазЭкология ИНК» были испытаны валы редуктора из сталей 40X и Т5 (0,25% С; 0,28% Si; 0,37% Mn; 0,09% Cr; 0,25% Ni; 0,13 % Се; 0,01 % La; остальное-железо).

В испытательной лаборатории ТОО «Шумомер» были испытаны правильная плита из сталей 15 и Т6 (0,15% С; 0,15% Si; 0,48% Mn; 0,08% Cr; 0,25% Ni; 0,07% Се; 0,12 % La; остальное - железо).

Изготовлены и внедрены в ТОО «Сенімді құрылыс» корпус редуктора мостового крана.

Корпус редуктора изготовлен из чугуна ЕА-1 (3,3-3,5% С; 1,4-2,4% Si; 0,7-1% Mn; 0,7-0,85% Cr; 0,15% S; 0,2% P; остальное- Fe);

- снижение шума составило 4-6 дБ;

- годовой экономический эффект составил 500000 тенге.

Изготовлены и внедрены шестеренки на литейно - механическом заводе ЖГМК ТОО "Корпорации Казахмыс":

- шестеренки изготовлены из чугуна ЕА-1(3,3-3,5% С; 1,4-2,4% Si; 0,7-1% Mn; 0,7-0,85% Cr; 0,7-0,85% S; 0,15% P; 0,2% Cu; остальное -Fe);

- снижение шума составило 5-7дБ;

- годовой экономический эффект составил 125000 тенге.

Изготовлены и внедрены корпус редуктора в ремонтно- механизированном специализированном управлении ЖГМК ТОО "Корпорации Казахмыс": - корпус редуктора изготовлен из чугуна ЕА-1 (3,3-3,5% С; 1,4-2,4% Si; 0,7-1% Mn; 0,7-0,85% Cr; 0,7-0,85% S; 0,15% P; 0,2% Cu; остальное -Fe).

Экономический эффект от мероприятий по охране труда объясняется тем, что при улучшении условий труда за счет снижения производственного шума, снижается заболеваемость рабочих, уменьшается число дней нетрудоспособности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основании полученных результатов изложены научно-обоснованные решения по снижению производственного шума путем разработки вибродемпфирующих металлических материалов на основе железа (литые сплавы, биметаллы, стали с наноструктурным покрытием, порошковые металлические материалы).

Основные выводы по результатам исследований заключаются в следующем:

1 Методы снижения производственного шума от соударений (замена ударных процессов безударными, использование прессования вместо штамповки, заменой ударной правки листов вальцовкой, использование амортизирующих устройств и др.), не всегда можно внедрить в производство. Использование демпфирующих сплавов на основе железа не эффективны из-за высокой плотности литого металла (максимальное гашение шума достигает 8-10 дБА).

2 Разработано устройство для исследования материалов по звукоизлучению (патент № 22198 РК, С01N 29/00), использование которого увеличивает точность измерения уровня ударного шума, при одновременном упрощении конструкции, что осуществляется за счет того, что ударник выполнен в виде стержня со шпоночным выступом, шаровидным бойком на торце, цилиндрический корпус со сквозными последовательно по высоте расположенными симметрично оси корпуса отверстиями для фиксации ударника, а также в корпусе, на внутренней поверхности которого имеется прямоугольный шпоночный продольный паз, предназначенный для направления движения ударника корпус закреплен жестко к основанию с помощью ребер жесткости трапецидальной конфигурации при этом одним концом прикреплен к корпусу, другим к основанию. Экспериментальным методом установлено, что при падении ударника весом $2,5\text{ т}$ с высоты $2,2\text{ h}$ (где m – масса заготовки; h – высота модели пуансона) обеспечивается повышенная точность измерения.

3 Разработаны вибродемпфирующие сплавы на основе железа, обеспечивающие снижение шума соударений на (3-11) дБА по сравнению с аналогичными стандартными сталями марок 08, 08кп, 10, 15, 20, 25, 10Г2, 20Г, при этом наилучшими демпфирующими свойствами обладают сплавы Т5 (0,25 % С; 0,28 % S; 0,37 % Mn; 0,09 % Cr; 0,25 % Cu; 0,25 % Ni; 0,13 % Ce; 0,01 La, остальное - железо) и Т6 (0,15 % С; 0,15 % Si; 0,48 % Mn; 0,08 % Cr; 0,25 % Cu; 0,25 % Ni; 0,07 % Ce; 0,12 % La, остальное - железо), причинами повышенных демпфирующих свойств разработанных сплавов Т5 и Т6 являются амплитудно независимое демпфирование, обусловленное внутренними напряжениями, вызванными несовершенствами (влияние церия и лантана) области расположения этих несовершенств образует пики микронапряжений, вызывающие тормозящие действия звуковой волне.

Одним из возможных механизмов « фонового » демпфирования является фононное рассеяние. В метастабильной решетке, характеризующейся повышенной собственной энергией и более резко напряженной, чем в стабильном состоянии, анизотропией, при распространении волн упругих напряжений имеются благоприятные условия для зарождения и аннигиляции фононов, своеобразного движения « фононного » газа. При встрече фононов с препятствиями типа дефектов кристаллической решетки или друг с другом происходит рассеяние энергии, проявляющееся с повышенном фоне демпфирования. С повышением температуры и увеличением общей метастабильности кристаллической решетки рассеяние резко возрастает.

Использованный метод математического планирования эксперимента (метод крутого восхождения Бокса-Вилсона) позволил установить зависимость уровня звука от содержания легирующих элементов. $Y=102x_0+2,33x_1+0,79x_2-1,99x_3-2,66x_4$, где коэффициент 2,33 - оценивает влияние содержания углерода; 0,79 - влияние никеля; 1,99 - влияние хрома; 2,66 - влияние РЗМ, при этом повышение содержание хрома с 0,1 до 0,3%, РЗМ до 0,16% вызывает снижение уровня ударного шума; а повышения содержания углерода до 0,24%, никеля до 0,25% вызывает рост уровня шума.

4 Получены биметаллические материалы на основе сталей 20Х, 15Х, 18ХГТ, 30, 45, алюминиевого сплава Ал2, разработанных низкоуглеродистых трубных сталей Т1, Т5, Т6, Т7, Т8. Повышенными демпфирующими свойствами обладают биметаллы Т3:Т3 (94-96 дБА); Т7:20Х (93-94 дБА); Т4:Т4 (93 дБА); Т5:Т5 (90-92 дБА); Т5:15Х (92-93 дБА); Т5:45 (98 дБА), это на 10 дБА ниже чем у литых стандартных сталей. Причинами повышенного затухания у биметаллов является приграничный слой между пластинами, где происходит рассеивание звука.

5 Для получения наноструктурных материалов (покрытий на поверхности сталей) использовали специальную установку на основе модернизированного вакуумно-дугового агрегата ННВ-6.6-3И, осуществляли сепарацию нейтральных частиц. Сепарация капельной составляющей производили в результате отклонения заряженных частиц поперечного потока (поны, электроны) мощным магнитным полем. Получали на поверхности сталей наноструктурное многослойное покрытие толщиной 400 нм, обеспечивающее демпфирование производственного шума ударного происхождения на (8-12) дБА.

6 Разработаны спеченные порошковые материалы на основе железа Т-13П (5,5 % Cr; 4,5 % Mn; 3 % Si; 1 % Cu ; 2 % Al, остальное железо), Т14 П (6 % Cr; 4,5 % Mn; 3,5 % Si ; 1,5 % Cu ; 2,5 % Al,, остальное железо), обладающие пониженным звукоизлучением (на 2-6 дБА) ниже, чем у стандартных спеченных порошковых материалов марок СП10, СП30, СП70, СП90. Причинами повышенного затухания звуковой энергии при соударении является переменная плотность порошкового металлического материала, обеспечиваемая при прессовании.

7 Предложенная математическая модель, описывающая синусоидальную зависимость звукового давления в точке трехмерного пространства от частоты собственных колебаний стальной трубы и экспоненциальную от диссипативных характеристик сплава, позволяет рассчитывать звуковое давление без проведения экспериментальных замеров;

8 Теоретически определенный в стандартных полосах частот уровень излучаемого шума в произвольной точке на определенном расстоянии от оси стальной трубы может быть использован при расчете акустических характеристик в реальном производстве;

9 Теоретически определено количество резонирующих квазипродольных и квазисдвиговых мод при генерировании ударного шума.

10 Определено, что интенсивность шума соударения будет затухать по экспоненциальной зависимости при демпфировании наноструктурными и биметаллическими материалами;

11 Термическая обработка (отжиг) плакирующего слоя биметалла позволяет обеспечить снижение шума на 10-14 дБА по сравнению с нормализацией и закалкой.

12 Термическая обработка обеспечила дополнительное повышение демпфирующих свойств как литых сплавов (Т1-Т8), так и биметаллов и наноструктурных порошковых материалов. Двойной отжиг плакирующего слоя биметалла повышает диссипацию звуковых энергии за счет резкого роста зерна

перлита, сопоставимые с длиной изгибной звуковой волны. Закалка и низкий отпуск основного слоя биметалла обеспечивает снижение шума соударений за счет создания мартенситной структуры, образующиеся модификации мартенсита характеризуются весьма подвижными межфазными границами, перемещение которых при приложении внешней нагрузки приводит к рассеиванию звуковой энергии.

13 Полученные новые литые вибродемпфирующие металлические материалы (железоуглеродистый сплав КазНТУ – V, сплав КазНТУ- IV на основе железа, сплав на основе железа) защищены патентами Республики Казахстан №№ 22295, 21005, 21006 соответственно.

14 Созданные вибродемпфирующие металлические материалы были внедрены на предприятиях РК и обеспечили экономический эффект в сумме 3 042 054,08 тенге в год за счет снижения заболеваемости работающих, уменьшения числа дней нетрудоспособности.

Оценка полноты решения поставленных задач. Задачи, поставленные в диссертации полностью выполнены. Результаты научной работы внедрены в производство и защищены патентами Республики Казахстан. При этом получен эффект в сумме 3 042 054,08 тенге

Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов. Разработанные вибродемпфирующие металлические материалы рекомендованы предприятиям с повышенным уровнем производственного ударного шума.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения. Внедрение разработанных вибродемпфирующих материалов позволило получить экономический эффект в сумме 3 042 054,08 тенге. Кроме того, рассчитанный социальный эффект оказался положительным, что подтверждает эффективность противозумных мероприятий.

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в этой области. Разработанные вибродемпфирующие металлические материалы на основе железа являются новыми материалами в технике борьбы с шумом, аналогов не имеют, отвечают современным требованиям, предъявляемым к демпфирующим сплавам. Теоретическая работа по определению уровней звукового давления в произвольной точке пространства по оценке акустической обстановки на рабочих местах.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1 Утепов Т.Е. Пути снижения производственного шума за счет сплавов высокого демпфирования. // Труды восьмой международной научно-технической конференции «Новое в безопасности жизнедеятельности» (охрана труда, экология, валеология, защита человека в ЧС, токсикология, экономические, правовые и психологические аспекты БЖД, логистика) Ч 1 Алматы: 2006. - С. 33-38.

2 Утепов Т.Е. Техничко-экономическая эффективность от применения разработанных демпфирующих сталей. // Труды восьмой международной научно-технической конференции «Новое в безопасности жизнедеятельности» (ох-

рана труда, экология, валеология, защита человека в ЧС, токсикология, экономические, правовые и психологические аспекты БЖД, логистика). - Алматы: КазНТУ, 2006. – Ч 1. - С. 40-45.

3 Утепов Т.Е. Демпфирующие сплавы, легированные редкоземельными элементами. // Вестник КазНТУ, Алматы – 2007. - № 1(58). – С. 35-43.

4 Утепов Т.Е. Снижение производственного шума за счет демпфирующих железоуглеродистых сплавов. // Вестник КазНТУ, Алматы – 2007. - № 1(58). – С. 87-93.

5 Утепов Т.Е. Демпфирующая сталь, легированная хромом и ванадием для техники борьбы с шумом. // Министерство образования и науки Кыргызской Республики. Журнал «Наука и новые технологии», Бишкек - 2007. - №3-4. - С.12-15.

6 Утепов Т.Е. Влияние термообработки на эффект затухания шума в структуре сплава. // Федеральное агентство по образованию Ставропольский государственной университет. Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности: Интеграция науки и практики. «Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Ставрополь: «Сервисшкола - 2008. - С. 175-179.

7 Утепов Т.Е. Малошумная направляющая труба токарного автомата. // Федеральное агентство по образованию Ставропольский государственной университет. Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности: Интеграция науки и практики. «Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Ставрополь: Сервисшкола – 2008. - С. 179-182.

8 Утепов Т.Е. Новый вибродемпфирующий сплав, легированный кальцием. // Федеральное агентство по образованию Ставропольский государственной университет. Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности: Интеграция науки и практики. «Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Ставрополь: Сервисшкола – 2008. - С. 182-186.

9 Утепов Т.Е. Демпфирующие углеродистые стали, легированные хромом, кальцием для техники борьбы с шумом. // Журнал «Известия вузов», Бишкек – 2008. - № 3-4. – С. 34-38.

10 Утепов Т.Е. Разработка сплавов с повышенными диссипативными характеристиками, легированные хромом и иттрием. // Журнал «Наука и новые технологии», Бишкек – 2008. - № 3-4. – С. 22-25.

11 Утепов Т.Е. Сплавы с повышенными характеристиками диссипации для техники борьбы с шумом. // Вестник КазНТУ, Алматы – 2008. - № 4 (67). – С.

12 Утепов Т.Е. Применение легированной демпфирующей стали в технике борьбы с шумом. // Инновационные и наукоемкие технологии в строительной индустрии: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. - Алматы: КазГАСА, 2008. – С. 259-263.

13 Утепов Т.Е. Демпфирующая сталь, легированная хромом и ванадием для техники борьбы с шумом. // Металлург, 2008. - № 5. – С. 23-28.

14 Утепов Т.Е. Звукоизлучение конструкционной стандартной стали. // Десятая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности» (охрана труда, экология, защита человека в ЧС, экономические, правовые аспекты БЖД, логистика). – Алматы: КазНТУ, 2009. – С. 246-249.

15 Утепов Т.Е. Акустические свойства легированных сталей. // Десятая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности» (охрана труда, экология, защита человека в ЧС, экономические, правовые аспекты БЖД, логистика). – Алматы: КазНТУ, 2009. – С. 253-257.

16 Утепов Т.Е. Сравнение акустических свойств стандартных и вновь выплавленных рессорно-пружинных сталей. // Десятая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности» (охрана труда, экология, защита человека в ЧС, экономические, правовые аспекты БЖД, логистика). – Алматы: КазНТУ, 2009. – С. 351-363.

17 Утепов Т.Е. Метод повышения демпфирующих свойств известной конструкционной стали. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 24-25.

18 Утепов Т.Е. Разработка диссипативных упругих сталей. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 25-26.

19 Утепов Т.Е. Упругие стали с повышенным демпфированием. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 26-28.

20 Утепов Т.Е. Акустические свойства металлов. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 47-50.

21 Утепов Т.Е. Демпфирование ударов металлов. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 50-52.

22 Утепов Т.Е. Демпфирующие порошковые металлические материалы на основе железа. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 4. – С. 5-6.

23 Утепов Т.Е. Преимущества порошковых металлических материалов при демпфировании соударений. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 4. – С. 6-7.

24 Утепов Т.Е. Изготовление деталей из металлического порошка для повышения демпфирующих свойств. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 4. – С. 7-10.

25 Утепов Т.Е., Утепов Е.Б., Заликанова И.П., Турлыбекова М.Т., Шевцова В.С. Способ изучения ударов твердых тел. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельно-

сти». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 82-85.

26 Утепов Т.Е., Сулеев Д.К., Утепов Е.Б., Заликанова И.П., Шевцова В.С. Изменение звукоизлучения при повышенных температурах. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 85-87.

27 Утепов Т.Е., Сулеев Д.К., Урикбаева Г.А., Утепова А.Б., Исаханова Айж.Б. Демпфирование колебаний качественными сталями. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 93-103.

28 Сулеев Д.К., Утепов Т.Е., Исаханова А.Б., Мукашулы А. Амплитудно-зависимое демпфирование легированных сплавов // Вестник КазНТУ, Алматы - 2003. - № 2(36). – С. 28-36.

29 Сулеев Д.К., Утепов Т.Е., Исаханова А.Б., Ерконыр А.К. Темірқөміртекті демпфирлерді қорытпалар // Вестник КазНТУ, Алматы - 2003. - № 3,4 (37/38). – С. 80-84.

30 Сулеев Д.К., Утепов Т.Е., Актаев Б.Г., Исаханова А.Б. Исследование контактных явлений при соударении // Вестник КазНТУ, Алматы - 2003. - № 3,4 (37/38). – С. 165-170.

31 Утепов Т.Е., Кожакан А.К., Исаханова А.Б. Производственный шум горного оборудования // Научно-техническое обеспечение горного производства: ИГД им. Д.А. Кунаева. – Алматы, 2003. – Т. 66. – С. 250-257.

32 Утепов Т.Е., Ерконыр А.К., Сейтбекова М.С. Социальная эффективность мероприятий по борьбе с шумом. // Молодые ученые – будущее науки: Труды Республиканской научной конференции. – Алматы: КазНТУ, 2004. – Ч. 1. – С. 134-136.

33 Сулеев Д.К., Утепов Т.Е., Исаханова А.Б., Заликанова И.П. Демпфирующие стали с пониженным звукоизлучением. // Молодые ученые – будущее науки: Труды Республиканской научной конференции. – Алматы: КазНТУ, 2004. – Ч. 1. – С. 179-183.

34 Сулеев Д.К., Утепов Т.Е., Умирбаева Р.С., Утепова А.Б., Сейтбекова М.С. Применение «тихих» сплавов в технике борьбы с шумом. // Вестник КазНТУ, Алматы – 2004. - № 1 (39). – С. 46-54.

35 Утепов Т.Е., Умирбай Р.С., Сейтбекова М.С., Абдиев К.И. Исследование внутреннего трения демпфирующих легированных железоуглеродистых сплавов // Вестник КазНТУ, Алматы – 2004. - № 2 (40). – С. 47-52.

36 Сулеев Д.К., Утепов Т.Е., Утепов Е.Б., Утепова А.Б., Ерконыр А.К. Соққылы шуды зерттеу құрылғылары. // Вестник КазНТУ, Алматы – 2004. - № 2 (40). – С. 62-67.

37 Сулеев Д.К., Утепов Т.Е., Утепова А.Б., Ерконыр А.К. Теоретические и экспериментальные аспекты процессов соударения твердых тел. // Вестник КазНТУ, Алматы – 2004. - № 3 (41). – С. 35-40.

38 Кожакан А.К., Утепов Т.Е., Ерконыр А.К., Заликанова И.П. Исследование шума ударного происхождения. // Вестник КазНТУ, Алматы – 2004. - № 3 (41). – С. 66-69.

39 Утепов Т.Е., Акубаева Д.М., Шевцова В.С., Мукашулы А. Исследование акустических свойств прутка токарных автоматов. // Вестник КазНТУ, Алматы – 2004. - № 5 (73). - С. 101-108.

40 Утепов Т.Е., Сулеев Д.К., Утепов Е.Б. Влияние формы и размеров конструктивных элементов деталей машин и механизмов на характеристики шумообразования. // Вестник КазНТУ, Алматы – 2004. - № 5 (73). - С. 118-124.

41 Утепов Т.Е., Заликанова И.П., Утепова А.Б., Сейтбекова М.С. Снижение шума механического происхождения горного оборудования. - Алматы: ТОО «Принт», 2004. – 107 с.

42 Утепов Т.Е., Сулеев Д.К., Утепов Е.Б., Шевцова В.С. Влияние температуры на звукоизлучение трубчатого металлического образца. // Вестник КазНТУ, Алматы – 2005. - № 2 (46). - С. 63-69.

43 Утепов Т.Е., Сулеев Д.К., Утепов Е.Б. Исследование демпфирующих свойств образца из чугуна. // Вестник КазНТУ, Алматы – 2005. - № 4 (48). - С. 36-42.

44 Сулеев Д.К., Ахмадиева Т.К., Утепов Т.Е., Нурулдаева Г.Ж., Турлыбекова М.Р., Алимбетова А.Ж. Жолдасова Б.А. Влияние легирующих элементов на демпфирующие свойства сплавов на основе железа // Сборник научных трудов «Безопасность жизнедеятельности (охрана труда, защита в ЧС, экология, валеология, токсикология, экономика, организация производства)». – Алматы: КазНТУ, 2005. - Вып. 2. – С. 4-8.

45 Утепов Т.Е., Сулеев Д.К. Разработка демпфирующих сплавов для снижения шума ударного происхождения // Сборник докладов, Второй форум возрождения китайской северо-восточной старой промышленной базы: научно-техническое сотрудничество Китая (Форум – 2006). - Китай, Харбин – 2006. – С. 517-522.

46 Утепов Т.Е., Куттыбаев С.К. Устройство для гашения шума токарного автомата. // Труды восьмой международной научно-технической конференции «Новое в безопасности жизнедеятельности» (охрана труда, экология, валеология, защита человека в ЧС, токсикология, экономические, правовые и психологические аспекты БЖД, логистика). - Алматы: КазНТУ, 2006. - Ч 1. - С. 38-40.

47 Утепов Т.Е., Карменов К.К., Суйесинова Г.И. Влияние температуры на демпфирующие свойства. // Вестник КазНТУ, Алматы – 2007. - № 1(58). – С. 43-48.

48 Утепов Т.Е., Заликанова И.П., Акубаева Д.М., Урикбаева Г.А. Исследование городского шума в районе больничного комплекса г. Алматы. // Вестник КазАТиК им. М. Тынышпаева «Хабаршысы», Алматы – 2007. - № 6(49). – С. 243-248

49 Утепов Т.Е., Дуйсенбаев А.А. Устройство для снижения шума ударного происхождения токарного автомата. // Материалы научно-практической конференции «Актуальные вопросы охраны труда и здоровья работников на современном этапе». – Астана, 2007. – С. 97-99.

50 Uteпов Т.Е., Zhumadilova Zh.O. Development of alloys with advanced damping properties // Федеральное агентство по образованию Ставропольский

государственной университет. Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности: Интеграция науки и практики. «Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Ставрополь: Сервисшкола - 2008. - С. 130-134.

51 Утепов Т.Е., Кутгыбаев С., Турлыбекова М.Р., Болатбаева Т.А., Серикбаев М.А. Снижение шума соударений. – Алматы: КазНТУ, 2008. -134 с.

52 Сулеев Д.К., Утепов Е.Б., Утепов Т.Е., Сыдыкова А.Б., Утепова Г.Е. Использование биметаллических материалов для снижения шума соударений в узлах машин и механизмов. – Алматы: КазНТУ, 2008. – 103 с.

53 Сулеев Д.К., Утепов Т.Е., Урикбаева Г.А., Утепова Г.Е. Применение демпфирующих наноструктурных материалов в технике борьбы с шумом и вибрацией. - Алматы: КазНТУ, 2008. – 76 с.

54 Пат. № 21006 Сплав на основе железа / Сулеев Д.К., Утепов Е.Б., Омирбай. Р.С., Утепов Т.Е., Батесова Ф.К., Акубаева Д.М., Утепова Г.Е.; инновационный патент на изобретение от 16.03.2009, Бюл. №3.

55 Пат. № 21005 Сплав «КазНТУ-IV» на основе железа Сплав на основе железа / Сулеев Д.К., Утепов Е.Б., Омирбай. Р.С., Утепов Т.Е., Батесова Ф.К., Жумадилова Ж.О.; инновационный патент на изобретение от 16.03.2009, Бюл. №3.

56 Пат. № 22198 Устройство для исследования материалов по звукоизлучению / Сулеев Д.К., Утепов Е.Б., Утепов Т.Е., Заликанова И.П., Жумадилова Ж.О., Утепова Г.Е., Турлыбекова М.Р.; инновационный патент на изобретение от 15.01.2010, Бюл. № 1.

57 Пат. № 22295 Железоуглеродистый сплав КазНТУ V / Сулеев Д.К., Утепов Е.Б., Нурулдаева Г.Ж., Утепов Т.Е.; инновационный патент на изобретение от 15.02.2010, Бюл. № 2.

58 Утепов Т.Е., Бычков В.Я., Бисакаев С.Г., Кужемуратов С.Ш., Турлыбекова М.Р., Мусаева С., Узымбетова Ж., Колмаков А.В. Звукоизлучение низкоуглеродистых сталей. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 32-33.

59 Утепов Т.Е., Утепов Е.Б., Серикбаев М.А., Тусупкалиева Э.А. Причины затухания колебаний в металлах. // Одиннадцатая Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности». - Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 33-35.

Түйін

Өтепов Тимур Еркасынұлы

Өндірістік шуды бәсеңдетуге арналған темір негізіндегі дірілді демпферлеуші металды материалдарды дайындау

05.26.01 – Еңбек қорғау

Техника ғылымдарының докторы ғылыми дәрежесін ізденуге арналған диссертация

Зерттеу өзектілігі. Өндірістің бірден-бір қауіпті факторларына — шу мен діріл жатады. Машина бөлшектері мен механизмдерінің жұмысы кезінде шу санитарлық нормадан жоғары мәнде шығады. Шу және дірілмен күресуде негізінен келесі дәстүрлі әдістер қолданылады: дыбыс жұту, дыбысты окшаулау, құлаққа арналған жеке қорғаныс құралдарын қолдану, әкімшіліктік шаралар. Бұл әдістердің кемшілігі – шумен оның таралу жолында ғана күреседі. Осыдан келе еңбек шарты төмендейді, жұмыс кеңістігі өзгереді (дыбыс окшаулау, дыбыс жұту), шандану мен өрт қауіптілігі (дыбыс жұту) жоғарылайды, алдын-алу дабылдары өзгереді және т.б.

Сол себептен, жұмысшыны шудан қорғаудың тиімді әдісі шудың пайда болу көзінде күресу болып табылады (соққылы процестерді соққысызға алмастыру, мысалы, тісті берілістерді ременді беріліске алмастыру, шуы төмен технологияларды қолдану, металды материалдардың орнына металды емес материалдарды қолдану, демпферлі қорытпаларды қолдану). Қазіргі заманғы тиімді жолға темір негізіндегі демпферлі қорытпаларды қолдану жатады. Бұл бағыттың маңыздылығы химиялық құрамдарын өзгертумен және термиялық өңдеу жүргізу есебінен темір негізіндегі демпферлі қорытпаларды жасауда болып табылады. Осы әдіспен шуды максимальды 6-10 дБА бәсеңдетуімізге болады. Сондықтан, ғылыми жұмыстың қызықтылығы биметалл түрінде бірнеше металды материалдарды (беттік) және нанокұрылымды жабындарды қолдану болып табылады. Мұндай сирек жұмыстарда зерттеушілер биметалдардың акустикалық қасиеттері мен нанокұрылымды жабындармен хрокремнийлі болаттарды зерттеген. Зерттеушілермен, дәлірек айтқанда темір негізіндегі ұнтақты металды материалдарды демпферлеудің жаңа бағыты қарастырылмаған. Жүргізілген талдаулар бойынша келесі қорытындыға келуімізге болады, яғни ұнтақты металды материалдардың қабатты металдары есебінен дірілді демпферлеуші материалдарды жасау және нанокұрылымды материалдарды қолдану.

Зерттеу объектісі. Зерттеу объектісіне соққы кезінде жоғары шу шығаратын машиналар мен механизмдердің металды материалдары жатады.

Жұмыстың мақсаты. Жұмыстың мақсаты ұнтақты металды материалдарды (ҰММ), қабатты (биметалл) материалдарды және темір негізіндегі нанокұрылымды материалдарды қолдана отырып, темір негізіндегі

дірілді демпферлеуші материалдарды жасау; математикалық модельдеу, болатты құбыр тербелісі жиілігінен үштүрлі кеңістіктегі дыбыс қысымының синусоидалы тәуелділігін сипаттау.

Зерттеу әдістері. Жұмыста кешенді зерттеу әдістері қолданылған, теориялық талдау, патенттік зерттеу және электромагниттік өрістер деңгейін бәсеңдетудің отандық және шетелдік тәжірибелерін сараптау, физикалық моделдеу, нақты сынау, сонымен қатар математикалық статистика әдістері қолданылды.

Негізгі конструктивті, технологиялық және технико-эксплуатациялық мінездемелері: Темір негізіндегі дірілді демпферлеуші металды материалдар жасалған:

- Т7 қорытпадан жасалған биметалдар (0,11 % С; 0,33 % Si; 1,5 % Mn; 0,12 % Cr; 0,25% Cu; 0,25 % Ni; 0,15 % La , қалғаны - темір; $\sigma_B = 565$ МПа; $\delta = 24$ %; $\psi = 53$ %; $a_n = 285$ Дж/см²) және болат 20Х (0,40 % С; 0,25 % Si; 0,6 % Mn; 0,85 % Cr, қалғаны - темір; $\sigma_B = 800$ МПа; $\psi = 40$ %; $\delta_5 = 11$ %; $\alpha_M = 60$ Дж/см²) соққы кезіндегі дыбыстың деңгейі $L_A = 93$ дБА ($d_{ш} = 6,5$ мм) 94 дБА ($d_{ш} = 8,5$ мм); 93 дБА ($d_{ш} = 11,5$ мм); $Q^{-1} = 9,8 \cdot 10^{-3}$ (Т7).

- биметалл Т3:Т3, Т3 екі пластинадан тұрады (0,09 % С; 0,20 % Si; 0,48 % Mn; 0,14 % Cr; 0,25 % Cu; 0,11 % Ni; 0,01 % Се, қалғаны - темір; $L_A = 107$ дБА; $Q^{-1} = 10,2 \cdot 10^{-3}$; $\sigma_B = 480$ МПа; $a_n = 101$ Дж/см²; $\psi = 48$ %; $\delta = 26$ %).

- Т13 темір негізіндегі күйдірілген ұнтақты материал (П) (0,9 % Cr; 0,5 % Mn; 0,4 % Si; 0,30 % Cu; 0,25 % Al, қалғаны - темір; $L_A = 91$ дБА; $Q^{-1} = 22,5 \cdot 10^{-3}$; $\sigma_B = 150$ МПа; $\psi = 4$ %; $\delta_5 = 5$ %) соққы кезінде минимальды дыбыс сәулесімен сипатталады.

- Т14 темір негізіндегі күйдірілген ұнтақты металды материал (П) (0,75 % Cr; 1,0 % Mn; 0,4 % Si; 0,3 % Cu; 0,25 % Al, қалғаны-темір; $L_A = 91$ дБА; $25,4 \cdot 10^{-3}$; $\sigma_B = 158$ МПа; $\psi = 6$ %; $\delta_5 = 8$ %; $a_n = 15$ Дж/см²) соққы кезінде минимальды дыбыс сәулесімен сипатталады.

- Т10 нанокұрылымды жабынды болат Т10 (Н) (0,2 % С; 3,0 % Si; 2,0 % Mn; 1,2 % Ni; $\leq 0,02$ % PЗМ, қалғаны-темір; НСП= $2,5 \cdot 10^{-7}$ м; $Q^{-1} = 20,4 \cdot 10^{-3}$; $\sigma_B = 1050$ МПа; $\psi = 45$ %; $a_n = 100$ Дж/см²) көпқабатты нанокұрылымды жабын (Ti-Al-N) арқылы минимальды дыбыс қысымы деңгейімен сипатталады.

Дыбыстық сәулелену бойынша материалдарды зерттеуге арналған қондырғы жасалды (ҚР инновациялық патенті, № 22198, СО1 N 29/00). Бұл қондырғы өлшеу дәлдігімен ерекшеленеді, яғни соққының жоғарыдан түсу биіктігінде 2,2 (h-пуансон моделінің биіктігі), соққы салмағы $2,5 \cdot m_3$, мұндағы: m_3 – үлгі салмағы).

Ғылыми-зерттеу жұмысын енгізу дәрежесі. Зерттеу нәтижелері Қазақстан Республикасының өнеркәсіптеріне ендірілген (дайындалған қорытпалардан машина бөлшектері мен механизмдері жасалған).

Пайдалану аймағы (қолданылу саласы). Жасалған жоғары демпферлі қасиеттерге ие қорытпалар өндірістерде шуды пайда болу көзінде бәсеңдетуге ұсынылған.

Жұмыстың нәтижелері:

- жасалған наноқұрылымды жабындар болат бетінде (Ti-Al-N) камераның вакуумды кеңістігінде генерация есебінен металды материалдардың диссипативтік қасиеттерін 30-40%-ға жоғарылатады, шуды 8-16дБ бәсеңдетеді, еңбек шартын жақсартады;

- кілейленген екіқабатты материал, үшқабатты материал түрінде жасалған композиционды металды материалдар құйылған үлгілермен салыстырғанда шу мен дірілді 6-14 дБ бәсеңдетеді, яғни жұмысшының есту мүшесінің нашарлау қауіптілігін төмендетеді;

- ұсынылған математикалық модель, үштүрлі кеңістік нүктесінде дыбыстық қысымның синусоидалы тәуелділігін сипаттайды, сонымен қатар болатты құбыр тербелісі жиілігін және болаттың диссипативті сипаттамаларын анықтауға, экспериментальды өлшеулерсіз дыбыстық қысымды есептеуге мүмкіндік береді;

- сәулеленуші шудың стандартты жолақтардағы жиілік деңгейлерінің анықталған теориясы, болатты құбыр өсі қашықтығындағы нүктелер мәні өндірісте акустикалық қасиеттерді есептеуде қолданылуы мүмкін;

- соққылы шу кезіндегі квазиұзындық және квазикозғалысты модельдердің саны теориялық анықталған.

- наноқұрылымды жабындармен және биметалды материалдармен демпферлеу кезінде соққылы шу қарқындылығы экспоненциальды тәуелділік бойынша жұтылатындығы анықталған;

- термиялық өңдеу (күйдіру) биметал қабатын нормалау және шынықтырумен салыстырғанда шу деңгейін 10-14 дБ төмендетумен қамтамасыз етеді;

- жоғары демпферлі қасиетпен сипатталатын наножабын қалыңдығы (400 нм) тек қана шу мен дірілді бәсеңдетіп қоймайды, сонымен қатар бөлшектердің беріктілік қасиеттерін жоғарылатады;

- ұнтақты металды материалдардың демпферлік қасиеттері престоу және термиялық өңдеуге тікелей қатысты, сол себептен ұнтақты материалдың демпферлі қасиеттері (ДҰМ) соққы кезінде ұнтақты материалды ауыспалы престоу тығыздығы есебінен жоғарылайды.

- қолданылған тәжірибені математикалық жоспарлау әдісі (Бокс-Вилсонның күшті өсу әдісі) легірлеуші элементтер құрамының дыбыс қысымына тәуелділігін нақтылауға мүмкіндік берді. $Y = 102X_0 + 2,33X_1 + 0,79X_2 - 1,99X_3 - 2,66X_4$, мұндағы коэффициент: 2,33 – көміртегі құрамының әсерін бағалайды; 0,79 – никельдің әсері; 1,99 – хромның әсері; 2,66 – СКМ әсері. Сондықтан хром құрамының 0,1-ден 0,3%, СКМ-дың 0,16%-ға жоғарылауы соққылы шу деңгейін төмендетеді; ал көміртегі құрамын 0,24%-ға, никельді 0,25%-ға жоғарылатқанда шу деңгейі жоғарылайды.

Жұмыстың экономикалық тиімділігі. Темір негізіндегі дірілді демпферлеуші металды материалдарды өндірістің бес кәсіпорнына ендіру нәтижесінде суммалық экономикалық эффект жылына 2990154 (екі миллион тоғыз жүз тоқсан мың жүз елу төрт теңге) теңгені құрады.

Зерттеу объектісінің дамуы туралы болжамдық ұсыныстар. Өндірістік шумен күресу техникасында темір негізіндегі дірілді демпферлеуші металды

материалдарды қолдану (биметалдар, күйдірілген ұнтақты материалдар, нанокұрылымды жабынды болаттар) тек қана социалды эффектті алуға емес, сондай-ақ шуды бәсеңдетумен, еңбек шартын жақсартумен, кәсіби аурудың алдын алумен, жұмысқа жарамсыздықты азайтумен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

SUMMARY

Uteпов Timur Erkasynovich

Development of vibro-damping metallic materials on an iron basis for decrease of industrial noise

05.26.01 – Labour Protection

The dissertation on competition of the scientific degree
of Doctor of Technical Science

Actuality of researches. One of harmful factors of manufacture are noise and vibration. Noise is radiated at work of details of cars and mechanisms of the raised level, is considerable above the sanitary code. In struggle against noise and vibration basically use traditional methods: a sound absorption, sound insulation, use of individual protection frames of organs of hearing, administrative actions. The lack of these methods is obvious - with noise struggle after it have created, establishing barriers on a way of its distribution. Working conditions thus worsen, the working space is blocked up (sound insulation, a sound absorption), raises a dust content and fire danger (sound absorption), warning signals mask, etc.

Therefore the most perspective way of protection of the worker from noise is struggle against noise in an occurrence source (replacement of shock processes unaccented, for example, replacement of tooth gearings seat belt; use of quiet technologies; use of nonmetallic materials instead of the metal; application of damping alloys). The most radical and modern is creation of damping alloys on an iron basis. The essence of this direction consists in creation of damping alloys on a basis of iron at the expense of change of a chemical compound and carrying out of thermal processing. However this way possible to lower noise a maximum on 6-10 dBA. Occurrence of the scientific works using a combination of several metal materials (sheet) in the form of bimetals and use nanostructure of coverings Therefore is of interest. In these rare works researchers have tried to investigate acoustic properties of bimetals and chromium-cerium steels with nanostructure a covering. By researchers aren't mentioned such perspective from the point of view of a damping as powder metal materials on an iron basis.

From the spent analysis it is necessary to draw a conclusion that it is necessary to diversify ways of creation vibro-damping materials on a basis of iron at the expense of powder metal materials of puff metals (bimetals) and application nanostructures materials.

Object of research. Object of research are metal materials of cars and the mechanisms, radiating at impacts noise of the raised level.

The work purpose. The work purpose is development of vibro-damping metallic materials on an iron basis with use of powder metal materials (PMM), puff (bimetallic) materials and nanostructures materials on a basis of iron and mathematical model to them, describing sinusoidal dependence of sound pressure in three-dimensional space from frequency of own fluctuations of a steel pipe.

Methods of researches. In work the complex technique of researches including the state of the art review, patent search and generalization of domestic and foreign

experience of decrease in noise of a shock origin, physical modeling, natural tests, and also application of mathematical statistics is used.

The basic constructive, technological and technical-operational characteristics: Are developed vibro-damping metallic materials on an iron basis:

- The bimetals made of alloy T7 (0,11 % C; 0,33 % Si; 1,5 % Mn; 0,12 % Cr; 0,25 % Cu; 0,25 % Ni; 0,15 % La, the rest - iron; $\sigma_B = 565$ MPa; $\delta = 24$ %; $\psi = 53$ %; $a_H = 285$ J/cm²) and steel 20X (0,40 % C; 0,25 % Si; 0,6 % Mn; 0,85 % Cr, the rest - iron; $\sigma_B = 800$ MPa; $\psi = 40$ %; $\delta_5 = 11$ %; $\alpha_M = 60$ J/cm²) levels of sound at impact $L_A = 93$ dBA ($d_e = 6,5$ mm) 94 dBA ($d_e = 8,5$ mm); 93 dBA ($d_e = 11,5$ mm); $Q^{-1} = 9,8 * 10^{-3}$ (T7).

- Bimetal T3:T3 from two plates T3 (0,09 % C; 0,20 % Si; 0,48 % Mn; 0,14 % Cr; 0,25 % Cu; 0,11 % Ni; 0,01 % Ce, the rest - iron; $L_A = 107$ dBA; $Q^{-1} = 10,2 * 10^{-3}$; $\sigma_B = 480$ MPa; $a_H = 101$ J/cm²; $\psi = 48$ %; $\delta = 26$ %)

- Powder material on an iron basis T13 (P) (0,9 % Cr; 0,5 % Mn; 0,4 % Si; 0,30 % Cu; 0,25 % Al, the rest - iron; $L_A = 91$ dBA; $Q^{-1} = 22,5 * 10^{-3}$; $\sigma_B = 150$ MPa; $\psi = 4$ %; $\delta_5 = 5$ %) possesses the minimum sound generation at impact.

- Powder metallic material on an iron basis T14 (P) (0,75 % Cr; 1,0 % Mn; 0,4 % Si; 0,3 % Cu; 0,25 % Al, the rest - iron; $L_A = 91$ dBA; $25,4 * 10^{-3}$; $\sigma_B = 158$ MPa; $\psi = 6$ %; $\delta_5 = 8$ %; $a_H = 15$ J/cm²) possesses the minimum sound generation at impact.

- A steel with nanostructure covering T10 (N) (0,2 % C; 3,0 % Si; 2,0 % Mn; 1,2 % Ni; $\leq 0,02$ % P3M, the rest - iron; $NSP = 2,5 * 10^{-7} M$; $Q^{-1} = 20,4 * 10^{-3}$; $\sigma_B = 1050$ MPA; $\psi = 45$ %; $a_H = 100$ J/cm²) possess a minimum level of a sound at the expense of multilayered nanostructural coverings (Ti-Al-N).

The device is developed for research of materials on sound generation (patent PK № 22198, CO1 N 29/00). It is established that accuracy of measurement of this device is sufficient at height of falling of the drummer from a point 2,2 (h-height of model of a punch), weight of the drummer $2,5 * m_3$, where m_3 – weight of preparation).

Recommendations about introduction or introduction results of scientific-research works. Results of research are introduced on a number of the enterprises of Republic Kazakhstan (impact details of cars and mechanisms are made of the developed alloys).

The sphere of application. The developed alloys with raised damping properties are recommended for the enterprises of the industry for the purpose of noise decrease in an occurrence source.

Results of work:

- Created nanostructures coverings on a surface of steels at the expense of generation (Ti-Al-N) in vacuum space of the chamber, provide increase dissipative properties of a metal material on 30-40 % that provides noise decrease on 8-16 dB, guaranteeing improvement of working conditions.

- The created composite metal materials (bimetals) in a kind the two-layer materials, the stuck together two and three-layer materials provide decrease in noise and vibration on 6-14 dB in comparison with cast and shod preparations that reduces danger of an acoustical trauma of the working.

- The offered mathematical model describing sinusoidal dependence of sound pressure in a point of three-dimensional space from frequency of own fluctuations of a steel pipe and exponential from dissipative characteristics of an alloy, allows to count sound pressure without carrying out of experimental gauging;

- Theoretically defined in standard strips of frequencies level of radiated noise in any point on certain distance from an axis of a steel pipe can be used at calculation of acoustic characteristics in real manufacture;

- The quantity of resounding quasilongitudinal and quasishift fashions is theoretically defined at generating of shock noise.

- It is defined that intensity of noise of impact will fade on exponential dependences at a damping nanostructures and bimetallic materials;

- Thermal processing (annealing) of a plating layer of bimetal allows to provide noise decrease on 10-14 dB in comparison with normalization and training.

- The thickness nano cover (400 nanometers), providing raised of damping properties guarantees not only noise level and vibration decrease, but also raised strength detail characteristics;

- Damping properties of powder metal materials essentially depend on a way of pressing and thermal processing, thus damping properties of a powder material (DPM) raise at impact at the expense of variable density pressed powder materials.

- Using the method of mathematical planning of experiment (method of Bocks - Wilson) defines the factors of regress characterizing influence of alloying elements on level of sound from compound of alloying elements. $Y = 102X_0 + 2,33X_1 + 0,79X_2 - 1,99X_3 - 2,66X_4$. Where coefficients: 2,33 – estimated influence of compound carbide; 0,79 – influence of nickel; 1,99 – influence of chromium; 2,66 – influence of PM. Then, maximum compound of chromium 0,1-0,3%, PM till 0,16% decreasing of levels at impact noise, but maximum compound of carbide till 0,24%, nickel till 0,25% raising of the levels of noise.

Economic efficiency. As a result of introduction vibro-damping metallic materials on an iron basis in manufacture of five enterprises, total economic benefit 2990154 tenge/year is received. (Two million nine hundred ninety thousand hundred fifty four tenges).

Estimation of scientific level of the performed work in comparison with the best achievements in the field. Application of damping metallic materials on an iron basis in the technician of struggle against industrial noise (bimetals, powder materials, steels with nanostructure a covering) will allow not only to gain social effect, but also essential economic benefit since noise level decrease will provide improvement of working conditions, disease decrease, reduction of days of invalidity.