Казахский национальный технический университет имени К.И.Сатпаева

УДК 669.1.01; 662.2.01 На правах рукописи

**АЛИМАНОВА МАДИНА УНГАРОВНА**

**Разработка вибродемпфирующих сплавов на основе железа, легированных никелем, ванадием и бором**

6D071000 - Материаловедение и технология новых материалов

Диссертация на соискание ученой степени доктора философии (PhD)

Научные руководители доктор технических наук, профессор Утепов Е.Б., PhD, professor Kim Yong-Il

Республика Казахстан Алматы, 2013

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ................................................................**3

**ВВЕДЕНИЕ.............................................................................................................**4

1. **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ БОРЬБЫ С ШУМОМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ........................................9**
	1. Производственный шум и вибрация на промышленных предприятиях ...9
	2. Влияние шума и вибрации на организм человека.... 17
	3. Борьба с шумом и вибрацией в источнике возникновения 20
	4. Исследование демпфирующих и виброакустических свойств демпфирующих материалов ... 22
	5. Методы исследования ударного шума ...27

Выводы по первому разделу.....................................................................39

1. **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕМПФИРУЮЩИХ, АКУСТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ 41 ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ**
	1. Влияние легирующих элементов на свойства стали...............................43
	2. Методика исследования звукоизлучения и виброускорения вибродемпфирующих сплавов...................................................................49
	3. Создание наноструктурного покрытия.....................................................55
	4. Имитационное моделирование акустической модели образцов в

COMSOL Multyphisics 60

Выводы по второму разделу 64

1. **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ПОИСКЕ ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИХ СПЛАВОВ 66**
	1. Применение методов планирования эксперимента 66
	2. Методы исследования демпфирования 67
	3. Учет погрешности при выплавке стали 70

Выводы по третьему разделу 82

1. **ДЕМПФИРУЮЩИЕ СПЛАВЫ, СНИЖАЮЩИЕ ШУМ И ВИБРАЦИЮ..................................................................................................83**
	1. Исследование вибрационных свойств легированных сталей....................83
	2. Исследование акустических свойств легированных сталей......................90
	3. Механизмы затухания колебаний в легированных сталях ....97
	4. Диссипативные и акустические свойства сталей ...102
	5. Влияние термообработки на демпфирующие и акустические свойства сталей ...107
	6. Расчет социально-экономического эффекта ....113

Выводы по четвертому разделу....................................................................117

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ......................................................................................................**119

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ........................................**121

**ПРИЛОЖЕНИЯ.....................................................................................................**131

**ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность исследований.** Одной из важнейших проблем промышленного производства является снижение производственного шума и вибрации. Это связано с применением высокоскоростных механизмов и машин. Среди разновидностей шума выделяется механический шум. Его уровни достигают 120-130 дБА. Разновидности механического шума - импульсные и ударные, характеризуются как наиболее вредные.

Шум соударений характерен для отраслей промышленности: металлобработка, черная металлургия, общее машиностроение, энергетика и др. Шум соударений очень вреден, а методы его снижения крайне затруднительны. Традиционные методы снижения шума (звукоизоляция, звукопоглощение, СИЗ, организационные и др.) недостаточно эффективны из- за загромождения рабочих площадей (звукоизоляция, звукопоглощение), маскирования предупреждающих сигналов (использование СИЗ органов слуха), неэффективностью, пожароопасностью, дополнительной запыленностью на рабочем месте (звукопоглощение).

Снижение шума в источнике возникновения - замена ударных процессов на безударные, замена зубчатых передач на клиноременные, использование неметаллических материалов вместо металлических и др., являются эффективными способами гашения производственного шума. Однако по технологическим критериям зачастую эти способы нерациональны.

Для снижения шума в источнике возникновения эффективным является применение металлических материалов с повышенными диссипативными свойствами. Но в настоящее время, конструкторы и технологи имеют недостаточные сведения о диссипативных характеристиках используемых сталей и сплавов. Известная сталь 20ХНР, легированная никелем, хромом и бором, после определенной термической обработки имеет не только различные физико-механические свойства, но и измененные акустические и демпфирующие характеристики. Этот факт при проектировании машин и механизмов зачастую не учитывается.

Анализ литературы показал, что ученые разных стран мира (США, Япония, Венгрия, Россия, Казахстан и др.) ведут поиски в создании новых демпфирующих металлических материалов (Такахара Х., Хидео Н., Хекл М., Писаренко Г.С., Заборов В.И., Фавстов Ю.К., Головин С.А., Сулеев Д.К. и др.), однако в этих работах отсутствуют исследования, посвященные созданию демпфирующих высокопрочных сталей, легированных никелем, ванадием и бором, используемых для ответственных деталей машиностроения (детали из стали 20ХНР, 30ХН2МФА и 38ХН3МФА).

Исследование демпфирующих, акустических и физико-механических свойств широко используемых сталей и сплавов и создание новых сталей с повышенными демпфирующими свойствами является актуальной проблемой в современном материаловедении.

**Целью работы** является разработка вибродемпфирующих сплавов, на основе железа, легированных никелем, ванадием и бором для изготовления деталей машин, работающих в режиме соударений и обладающих повышенными демпфирующими свойствами.

**К задачам исследования относятся:**

 - анализ современного состояния борьбы с шумом на промышленных предприятиях;

 - исследование акустических, демпфирующих, физико-механических свойств известных легированных сталей;

 - разработка новых сталей, легированные никелем, ванадием и бором, с улучшенными характеристиками демпфирования, звукоизлучения и механических свойств (термообработка, нанесение наноструктурного покрытия) для замены известных марок сталей;

 - применение метода математического планирования экспериментов для поиска оптимальных значений химического состава вибродемпфирующих, легированных сплавов;

 - опытно-промышленные испытания и внедрение полученных новых сплавов с высокими вибродемпфирующими свойствами.

**Предметом исследования** являются металические материалы, используемые для деталей машин и механизмов, работающих в режиме соударений.

**Обьектом исследования** являются отрасли промышленности (металлообработка, черная металлургия, энергетика и др.), использующие металлические материалы на основе железа для деталей, работающих в режиме соударений.

**Метод исследования.** В диссертации использована методика исследований, включая аналитический обзор литературы, патентный поиск, обобщение результатов опыта ученых Казахстана, России, США и др. в создании демпфирующих сплавов в технике борьбы с шумом; физическое моделирование, экспериментальное исследование, применение методов математического планирования экспериментов (МПЭ).

**Основные научные положения и результаты выносимые на защиту:**

 - разработана сталь 3М, легированная никелем (3,5%), ванадием (0,25%) и бором (0,005%) при содержании углерода (0,4%), обладающая повышенными демпфирующими свойствами (5=0,0146; ^=0,0291; Q-1=0,0458), пониженным звукоизлучением при соударении (LA=54 дБА) и достаточными физико- механическими свойствами *(аВ > 990МПа*; *аТ > 825МПа*; *8Ъ >* 13%; *у >* 45%; *KCU >* 55 Дж/см , *HB >* 270МПа;); термическая обработка стали 3М (закалка при температуре 890°С с охлаждением в масле и высокий отпуск при температуре 650°С) создает тростобейнитную структуру, которая обеспечивает

оптимальные прочностные свойства и повышение уровня диссипации (рост

-2 -2 внутреннего трения с 4,58\*10" до 8,64\*10");

- послойное нанесение наноструктурного покрытия (Ti-Al-N) вакуумно- дуговым методом по 30 нм на поверхность стали 3М (общая толщина покрытия - 3\*10-6 м), обеспечивает дополнительное снижение шума механического совокупностью и удовлетворительной сходимостью результатов аналитических, лабораторных, промышленных исследований характеристик звукоизлучения и виброускорения.

**Практическая значимость работы** состоит в создании новых легированных сталей с повышенными демпфирующими свойствами и с наноструктурным покрытием, оценке акустических и демпфирующих свойств известных сталей, разработке рекомендаций по снижению производственного шума.

**Апробация результатов исследования.** Основные положения и результаты исследования докладывались и обсуждались на международных конференциях, в том числе: XII международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности» (КазНТУ имени К.И. Сатпаева, Алматы, 2012); XIV и XV международные научно-технические конференции «Безопасность техносферы» (НИТУ МИСиС, Москва, 2012-2013 гг.); Международная научно-практическая конференция «Современные направления теоретических прикладных исследований-2013» (Одесса, 2013), International Conference «Modern Challenges and Decisions of Globalization» (ICET, New York, 2013). Работа была обсуждена на научном семинаре кафедры «Станкостроение, материаловедение и технология машиностроительного проиводства» в Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева (2013г.), а также в «Department of Nano-optical Engineering» Корейского политехнического университета, г. Сихынг (2012г.).

**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:

 - по научно-исследовательской работе № 5.852.11 от 01.09.2011 "Разработка мероприятий по решению вопросов охраны труда, промышленной безопасности", ТОО "Научно-производственная фирма "Мунайгаз инжиниринг ЛТД", сумма 3 336 000 тг.

 - гранта МОиН РК по теме №747 МОН. ГФ.12.15 - «Разработка порошковых демпфирующих металлических материалов с регулируемой плотностью» (срок от 02.03.2012 г. до 31.12.2012 г., объем финансирования - 7 000 000 тенге), № гос.рег.:0112РК01996;

 - гранта HAH PK по теме №218 МОН. ГФ.12.15 - «Создание демпфирующих многослойных металлических материалов с наноструктурным покрытием», (срок от 04.02.2013 г. до 31.12.2013 г., объем финансирования 7 500 000 тенге).

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 17 статей, из которых 6 статей опубликованы в рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК изданиях четырех различных наименований, 1 статья опубликована в издании, входящем в базу данных Scopus, 10 статей опубликованы в сборниках Международных научно-технических и научно-практических конференциях (Казахстан, Россия, Украина и США).

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 130 страницах текста компьютерного набора и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, который состоит из 148 наименований, в том числе 17 на иностранном языке. Работа содержит 31 таблицу, 56 рисунка и 6 приложений.