

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-
II

Республика Казахстан Алматы, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ БОРЬБЫ С ШУМОМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	9
1.1 Производственный шум и вибрация на промышленных предприятиях...	9
1.2 Влияние шума и вибрации на организм человека.....	17
1.3 Борьба с шумом и вибрацией в источнике возникновения.....	20
1.4 Исследование демпфирующих и виброакустических свойств демпфирующих материалов.....	22
1.5 Методы исследования ударного шума.....	27
Выводы по первому разделу.....	39
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕМПФИРУЮЩИХ, АКУСТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ	41
2.1 Влияние легирующих элементов на свойства стали.....	43
2.2 Методика исследования звукоизлучения и виброускорения вибродемпфирующих сплавов.....	49
2.3 Создание наноструктурного покрытия.....	55
2.4 Имитационное моделирование акустической модели образцов в COMSOL Multyphysics	60
Выводы по второму разделу	64
3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ПОИСКЕ ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИХ СПЛАВОВ	66
3.1 Применение методов планирования эксперимента	66
3.2 Методы исследования демпфирования.....	67
3.3 Учет погрешности при выплавке стали	70
Выводы по третьему разделу	82
4 ДЕМПФИРУЮЩИЕ СПЛАВЫ, СНИЖАЮЩИЕ ШУМ И ВИБРАЦИЮ.....	83
4.1 Исследование вибрационных свойств легированных сталей.....	83
4.2 Исследование акустических свойств легированных сталей.....	90
4.3 Механизмы затухания колебаний в легированных сталях	97
4.4 Диссипативные и акустические свойства сталей.....	102
4.5 Влияние термообработки на демпфирующие и акустические свойства сталей.....	107
4.6 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: металлообработка, 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 металлические материалы, используемые для деталей машин и механизмов, работающих в режиме соударений.

Объектом 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 ($\delta=0,0146$; $\eta=0,0291$; $Q^{-1}=0,0458$), пониженным звукоизлучением при соударении ($L_A=54$ дБА) и достаточными физико-механическими свойствами ($a_B > 990$ МПа; $a_T > 825$ МПа; $\delta_b > 13\%$; $y > 45\%$; $KCU > 55$ Дж/см², $HV > 270$ МПа.); термическая обработка стали 3М (закалка при температуре 890°C с охлаждением в масле и высокий отпуск при температуре 650°C) создает тростобейнитную структуру, которая обеспечивает оптимальные прочностные свойства и повышение уровня диссипации (рост внутреннего трения с $4,58 \cdot 10^{-2}$ до $8,64 \cdot 10^{-2}$);

- послойное нанесение наноструктурного покрытия (Ti-Al-N) вакуумно-дуговым методом по 30 нм на поверхность стали 3М (общая толщина покрытия - $3 \cdot 10^{-6}$ 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 производства» в Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева (2013г.), а также в «Department of Nano-optical Engineering» Корейского политехнического университета, г. Сихыннг (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 НАН РК 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.