

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы на тему:

«РАЗРАБОТКА ХРОМОНИКЕЛЕВАНАДИЕВЫХ СТАЛЕЙ С ДИССИПАТИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ И ИХ ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПУТЕМ ОСАЖДЕНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ TiN-CU», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D074000- «Наноматериалы и нанотехнологии»
АБУОВА РЫСБУБИ ЖОЛДЫБАЕВНА

Целью работы является разработка хромоникелеванадиевых сталей с диссипативными свойствами и их поверхностная модификация путем осаждения наноструктурных износостойких покрытий TiN-Cu

К числу основных задач исследований относятся:

- разработка новых составов сталей, легированных никелем, хромом и ванадием с высокими демпфирующими, вибрационными и акустическими свойствами;

- определение взаимосвязи между режимами осаждения наноструктурных керамико-металлических покрытий на подложки из полученных сталей и их составом и структурой путем выполнения комплекса исследований;

- изучение химического и фазового составов покрытий, анализ их физико-механических свойств;

- изучение трибологических свойств покрытий в широком интервале температур, в том числе в условиях динамического нагрева;

- исследование диссипативных, вибрационных и акустических свойств новых разработанных сталей с осажденными на их поверхность керамико-металлическими наноструктурными покрытиями.

Объектом исследования являются новые составы выплавленных сталей с керамико-металлическим (TiN-Cu) наноструктурным покрытием

Методы исследования. В работе использован комплекс современных аналитических методов исследований: оптической микроскопии, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, рентгенофазового анализа, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, микрорентгеноспектрального анализа.

Физико-механические и трибологические свойства покрытий определялись по стандартным сертифицированным методам и методикам на современном прецизионном оборудовании. Характеристики демпфирования определяли с помощью комплексного исследования акустических и вибрационных свойств пластинчатых и трубчатых образцов сталей, в том числе, с осажденными покрытиями.

Основные научные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями), выносимые на защиту:

1. Разработана сталь ЭО5, легированная хромом, никелем, ванадием, обладающая повышенными демпфирующими свойствами ($Q^{-1}=1,54 \cdot 10^{-2}$; $\Psi = 9,66 \cdot 10^{-2}$; $\Delta = 4,83 \cdot 10^{-2}$), пониженным звукоизлучением при соударении ($LA=54$ дБА) и достаточными физико-механическими свойствами ($\sigma_b=1100$ МПа; $\sigma_T 1000$ МПа; $\delta_5 \geq 8\%$; $\psi \geq 40\%$; $KCU \geq 110$ Дж/см²). Термическая обработка стали ЭО5 (закалка при температуре 830°C с охлаждением в воздух и высокий отпуск при температуре 500°C) создает тростобейнитную структуру, которая обеспечивает оптимальные прочностные свойства и повышение уровня диссипации (рост внутреннего трения с $4,39 \times 10^{-2}$ до $7,69 \times 10^{-2}$);

2. Получены керамико-металлические наноструктурные покрытия TiN-Cu с разным содержанием меди с повышенной твердостью (46-50 ГПа) с повышенной степенью упругого восстановления ($> 50\%$), с низким коэффициентом трения (0.4), высокой адгезионной прочностью к подложке (> 35 Н), установлены зависимости между структурой, фазовым составом покрытий и их трибологическими характеристиками в широком диапазоне температур;

2. Нанесение керамико-металлического наноструктурного покрытия вакуумно-дуговым методом на поверхность стали ЭО5 состоящего из зерен ГЦК фазы нитрида титана со средним размером 14-18 нм, и меди находящейся в металлическом состоянии на межзеренных границах TiN, обеспечивает дополнительное снижение шума механического происхождения на 7-9 дБ.

4. Осуществлена опытно-промышленная проверка на предприятиях АО «АЗТМ» Алматинский Завод Тяжелого Машиностроения и ТОО «Алматинский завод Электроцит» стали ЭО5 (КМНП) ЭО5 (0,45-0,48 % С; 1,0-1,2 % Ni; 0,7-0,8 % Mn; 0,5-1,2 % Si; 0,35-0,45 % V; 0,9 % Cr; 0,3-0,4% Co, ост. - Fe) Была изготовлена втулка в направляющей трубе токарного автомата. Снижение шума составило 9-16 дБА по сравнению со сталью 25Х2НМФА. Ожидаемый годовой экономический эффект составил 1000000 тенге.

Описание основных результатов исследования.

Впервые разработаны новые составы сталей ЭО3 (0,22% С; 1,2 % Ni; 0,7 % Mn; 0,30 % Si; 0,35 % V; 0,8 % Cr; 0,1% Co, ост. - Fe), ЭО4 (0,35 % С; 2.5 % Ni; 0,8 % Mn; 0,2 % Si; 0,4 % V; 0,8 % Cr; 0,2% Co, ост. - Fe), ЭО5 (0,45-0,48 % С; 1,0-1,2 % Ni; 0,7-0,8 % Mn; 0,5-1,2 % Si; 0,35-0,45 % V; 0,9 % Cr; 0,3-0,4% Co, ост. - Fe), легированные Cr, Ni, V обладающие повышенными диссипативными, акустическими, вибрационными свойствами и предложен подход по дальнейшему повышению их демпфирующих свойств за счет осаждения на их поверхность покрытий. По исследованию осциллограммы затухания звукового импульса разработанные сплавы ЭО5 $Q^{-1}=1,54 \cdot 10^{-2}$; $\Psi = 9,66 \cdot 10^{-2}$; $\Delta = 4,83 \cdot 10^{-2}$; имеют повышенные значения скорости затухания звука и диссипативные характеристики по сравнению со стандартными сталями 20ХН $Q^{-1}=0,79 \cdot 10^{-2}$; $\Psi = 4,9 \cdot 10^{-2}$; $\Delta = 2,48 \cdot 10^{-2}$ И для марки

20ХН4ФА ($Q^{-1}=0,72*10^{-2}$; $\Psi =4,52*10^{-2}$; $\Delta =2,26*10^{-2}$); для марки 25Х2НМФА ($Q^{-1}=0,58*10^{-2}$; $\Psi =3,64*10^{-2}$; $\Delta =1,82*10^{-2}$). Результирующая троостобейнитная структура образца ЭО5 дает возможность подавлять шум от контактного взаимодействия и получать повышенную диссипативность. Вибрации выплавленных сталей ЭО3, ЭО4 и ЭО5 на 16 дБ ниже, чем у известных сталей 20ХН, 20ХН4ФА и 25Х2НМФА. Акустические характеристики выплавленных сталей на 7-9 дБа ниже, чем у известных.

Приведены результаты исследований процессов формирования структуры и фазообразования в покрытиях (TiN)-Cu полученных методом ионно-плазменного вакуумно-дугового напыления на выплавленных сталях ЭО5. Концентрация меди составляла (7 и 14ат.%). Структуру и фазовый состав покрытия TiN-Cu анализировали с помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. При исследовании поперечных сколов методом растровой электронной микроскопии. Полученные покрытия имели толщину 2,5 мкм и характеризовались слоистой структурой. Излом покрытия имеет признаки вязкого разрушения и сопровождается образованием ямок волокнисто-полосчатого излома в микрорельефе. Анализ структуры покрытий проведенный с использованием ПЭМ, демонстрирует наличие наноструктуры. По микродифракционному анализу и полученным темнопольным изображениям можно заключить, что кристаллиты в покрытии являются нитридом титана δ -TiN. Размер кристаллитов для TiN-Cu покрытий кристаллографической текстуры в покрытиях обнаружено не было.

Рентгеновские дифрактограммы и электроннограммы свидетельствуют о наличии только нитрида титана в КМНП TiN-Cu с содержанием меди 7ат.% соответственно. Линии дифракции фаз, содержащих медь, на рентгенограммах и электроннограммах отсутствуют. Это говорит об их рентгеноаморфности. При концентрациях меди 14 ат.% на рентгенограммах покрытия TiN-Cu появляются линии рентгеновской дифракции соответствующие металлической меди. При синтезе TiN-Cu покрытия вакуумно-дуговым методом рост кристаллитов нитрида титана тормозится за счет их окружения прослойками меди, что способствует формированию наноструктуры. В покрытиях столбчатая структура не выявлена, покрытия являются сплошными, без микропор и микротрещин.

ЭО5 с осажденным КМНП на 16 дБа ниже, чем у стали 25Х2НМФА. Осаждение наноструктурных покрытий позволяет снизить уровень виброускорений на (9) дБ (сталь 25Х2НМФА).

Приведены результаты исследования методом наноиндентации нитридных покрытий, полученных вакуумно-дуговым методом с концентрацией меди с 7 до 14ат.%, растет твердость от 46 до 50 ГПа, в то время твердость покрытия TiN в ≈ 2 раза ниже и составляет 23 ГПа. Степень упругого восстановления TiN-Cu покрытий выше, чем у TiN покрытий в ≈ 2 раза. Адгезионная прочность покрытий на подложках выплавленной стали ЭО5 определялась скретч-тестированием на приборе Revetest. До начала адгезионного разрушения, на поверхности покрытий практически не

наблюдалось появления трещин, сколов или локальных когезионных разрушений. Критическая нагрузка L_{c3} для покрытия, однако, была существенно ниже, чем для покрытия с содержанием меди 7 ат.%. Для покрытия критическая нагрузка составляла $L_{c3} \approx 35$ Н.

Исходя из характера отслоений, можно предположить, что основной вклад в разрушения вносят сдвиговые напряжения. При увеличении нагрузки, покрытия основном разрушаются по краю царапины, то есть при большем вдавливании покрытия в материал подложки существенную роль в разрушении начинают играть сжимающие и растягивающие напряжения по краям царапины. Это объясняется нанокпозиционной структурой исследуемых покрытий, способствующей сдерживанию распространения трещин за счет разветвленной сети границ, а также сохранения вязкости КМНП. зерен, а так же сохранением вязкости материала КМНП.

Установлено, что покрытия КМНП TiN-Cu с содержанием меди 7 ат. % обладали относительно низким значением коэффициента трения в паре с контртелом (Al_2O_3) на уровне 0.3-0.4. Покрытия КМНП TiN-Cu с содержанием меди 14 ат. % наоборот, обладали самыми высокими значениями коэффициента трения и приведённого износа в диапазоне 0,6 – 1,0.

Обоснование новизны и важности полученных результатов:

Впервые разработаны новые составы сталей, легированные Cr, Ni, V обладающие повышенными диссипативными, акустическими, вибрационными свойствами и предложен подход по дальнейшему повышению их демпфирующих свойств за счет осаждения на их поверхность покрытий.

Установлены особенности формирования структуры нанокпозиционных покрытий в системе TiN-Cu в зависимости от концентрации (7% и 14%) меди, выражающиеся в уменьшении размера кристаллитов фазы нитрида титана при повышении содержания меди в покрытиях.

Впервые получены зависимости между содержанием физико-механическими, трибологическими, диссипативными, вибрационными и акустическими свойствами наноструктурных покрытием TiN-Cu осажденных на новые разработанные стали.

Соответствие направлениям развития науки или государственным программам.

Диссертационная работа выполнялась по приоритетному направлению развития науки: машиностроение, металлы и сплавы со специальными свойствами, нанотехнологии и наноматериалы.

Связь диссертации с планами НИР. Работа выполнялась в соответствии с планом научно-исследовательских работ Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева. Регистрационный номер AP08956794 Тема: «Исследование физико-механических свойств демпфирующих сплавов с наноструктурным покрытием для ответственных деталей автомобильного транспорта»

Личный вклад автора.

Обзор и анализ научной литературы по теме диссертации, непосредственное выполнение экспериментальной части работы. Обработка, интерпретация и обобщение полученных результатов, а также активное участие в написании и оформлении статей, тезисов, участие на республиканских и международных конференциях.

Описание вклада докторанта в подготовку каждой публикации.

По результатам диссертационной работы было опубликовано 16 печатных работ, в том числе 5 статей с ненулевым импакт-фактором в базе Scopus, 7 статей, рекомендованные Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОиН РК, 5 тезисов докладов на международных научно-практических конференциях.

Диссертант является автором – корреспондентом (corresponding author) основных научных статей, написанных по результатам проведенных работ.

По материалам диссертационной работы опубликовано 16 печатных работ, из них 3 статьи в международных рецензируемых научных журналах, входящие в БД Scopus/Web of Science:

1. Uteпов E.B., Ten E.B., Zhumadilova Zh.O., Smailova G.A., Shevcova V.S., Isahanova A.B., **Abuova R.Zh.** [Damping Metallic Materials with a Nanostructured Coating](#) // [Metallurgist](#), Vol. 60 (9-10), January 2017, pp.961-966, Publisher: [Springer New York LLC](#) ISSN: 0026-0894 (print), ISSN:1573-8892 (**online**) **Citescore: 0,23, Percentile: 36**

2. Uteпов E.B., Potoskii E.P., Shevcova V.S., **Abuova R.Zh** Kattabekov E.N, Berkinbaeva A.S. Damping Steels for Sheet Stacker Components During Sheet Rolling // [Metallurgist](#), Vol. 63 (3-4), July 2019, pp.286-294 Publisher: [Springer New York LLC](#) ISSN: 0026-0894 (print), ISSN:1573-8892 (online) **Citescore: 0.40**

3. **Abuova R.Zh**, E.B. Ten, G. Burshukova Study of vibration properties of ceramic-metal nanostructural TIN-CU coatings with different copper content 7 and 14 at. % on chromium-nickel-vanadium steels // News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. Volume 5, number 449 (2021), pp.6-13 **Percentile: 40**

4. **Abuova R.Zh**, D.K. Suleyev, G.A. Burshukova Study of damping properties of alloyed steels with ceramic-metallic nanostructured coating for critical parts // News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences ISSN 2224-5278 Volume 3, Number 453 (2022), 52-65 <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.179> (Print) **Percentile: 43**

5., G.A. Burshukova A.Ye. Kanazhanov **Abuova R.Zh** A.A. Zholdasov Analysis of using Damping Alloys to Improve Vibration and strength Characteristics in the Automotive Industry // Evergreen, June 2023 ISSN:2189-0420 **Percentile: 56**