

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора технических наук, профессора

Куксеновой Лидии Ивановны на диссертацию

Камалетдиновой Регины Рамилевны «Повышение эффективности применения керметов на основе карбида титана в запорной арматуре»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах»

**Актуальность темы исследования.** Надежность, долговечность и безопасность эксплуатации запорной аппаратуры существенно влияют на эффективность технологических процессов в различных производствах и, прежде всего, в горной металлургии и нефтехимпереработке. Известно, что сила трения в элементах затворного узла оказывает влияние на уровень поверхностного разрушения его составляющих и характеристики привода в целом. Поэтому выбор, обоснование и совершенствование конструкционных материалов, из которых изготавливаются элементы трибосопряжений, является актуальной задачей фрикционного материаловедения, и тему работы Камалетдиновой Р.Р., связанную с решением вопросов повышения работоспособности запорной арматуры, эксплуатируемой в горной металлургии и нефтехимпереработке, следует признать весьма актуальной, особенно применительно к современному состоянию и уровню технологических процессов в этих производствах. Кроме того, важность решаемых задач подтверждается соответствием темы одному из направлений по разработке и использованию керамико-металлических материалов в Федеральной целевой программе «Исследование и разработка по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы» (№ 426 от 21.04.2013 г.).

**Общая методология и методика исследования.** Решение автором поставленных задач проведено с учетом специфики предмета изучения и объекта исследования. В диссертационной работе использовался эмпирический метод, связанный с постановкой экспериментальных исследований, основанных на применении известных и достоверных методов триботехнических испытаний. Теоретический анализ полученных результатов выполнен на базе положений теории трения, изнашивания и контактного взаимодействия отечественной школы трибологов. Исследование микроструктуры изношенных поверхностей позволило осуществить качественный и количественный анализ поверхностей трения керамико-металлических материалов и определить их роль в формировании износа трибосопряжений. В целом, диссертационная работа Камалетдиновой Р.Р. представляет собой комплексное научное исследование, включающее теоретические и экспериментальные разработки, статистическую обработку полученных результатов. Полученные автором

результаты по температуре и нагрузке соответствуют нормальным и тяжелым условиям нагружения.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** В основе работы лежат признанные трибологами положения теории трения и изнашивания. Для выявления оригинальных закономерностей автором использованы известные, стандартизованные методы испытаний и исследования. Выявленные автором закономерности базируются на достаточном количестве экспериментов, и они согласуются как с известными экспериментальными данными, так и с теоретическими разработками. Кроме того, результаты лабораторных исследований достаточно хорошо согласуются с данными стендовых испытаний. Шаровые краны, выполненные с учетом разработанных автором рекомендаций, прошли промышленные испытания; в настоящее время результаты работы Камалетдиновой Р.Р. используются на промышленном предприятии при проектировании и изготовлении шаровых кранов. Все перечисленное выше дает основание полагать, что научные положения, выводы и рекомендации по работе обоснованы и достоверны.

**Научная новизна работы.** К новым научным результатам можно отнести:

- закономерности влияния состава металлокерамического композиционного материала на основе карбида титана с жаропрочной металлической связкой на эксплуатационные свойства тяжелонагруженных трибосопряжений типа шар-седло;
- аналитическую степенную зависимость величины объемного износа трибосопряжений, типа шар-седло, составляющие которых выполнены из керметов, от величины коэффициента упрочнения адгезионных связей.

**Значение выводов и рекомендаций, полученных в диссертации, для науки и практики.** Значение для практики и теории имеет методология теоретико-экспериментального исследования адгезионного взаимодействия и процессов износа керамико-металлических материалов на основе карбида титана и износостойких покрытий, работающих в тяжелых условиях нагружения, а также создание общих рекомендаций по выбору материалов трибосопряжений затворного узла запорной арматуры, в том числе шар-седло.

Практическое применение работы выражается:

- в использовании промышленной практикой разработанных рекомендаций по применению керметов ЖС6У и ВЖЛ14Н для трибосопряжений шар-седло и износостойких покрытий для повышения эксплуатационных характеристик запорной арматуры;
- в разработанной методике стендовых испытаний трибосопряжения шар-седло шарового крана.

## Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа Камалетдиновой Р.Р. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений, содержащих подтверждение применения на практике результатов работы. Она изложена на 166 страницах, включая 79 рисунков, 21 таблицу, 114 наименований используемых литературных источников и приложения. Результаты аналитического обзора и экспериментальных исследований изложены в пяти главах.

**Первая глава** включает обзор публикаций, содержащих информацию об эксплуатационных характеристиках тяжелонагруженных трибосопряжений, в частности, трубопроводной арматуры, в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающих отраслях промышленности. Основной акцент при анализе научных работ автор диссертации делает на состав и свойства используемых материалов. Автором четко сформулированы требования к материалу затворного узла: высокая твердость, износостойкость, антифрикционность, высокие характеристики прочности.

Исходя из условий эксплуатации запорной аппаратуры, сопровождающейся высоким уровнем абразивного изнашивания, из выявленных недостатков традиционно используемых материалов и сформулированных требований, удовлетворение которых обеспечило бы необходимый уровень ресурса изделий, автор диссертации достоверно обосновала перспективность использования керамико-металлического композиционного материала на основе карбида титана с металлической связкой.

Следует особенно подчеркнуть, что выбор материала для трубопроводной арматуры автором проведен на основе классических закономерностей процессов трения и изнашивания, развитие которых успешно продолжается в Уфимском государственном авиационном техническом университете.

Во **второй главе** описаны технологии изготовление шара и седла (основного выбранного для исследования узла трения) из керметов TiC-ЖС6У и TiC-ВЖЛ14Н. При сравнительных триботехнических исследованиях испытывались также жаропрочный сплав ЖС6У и нержавеющая сталь 12Х18Н10Т.

Для оценки адгезионного взаимодействия контактирующих поверхностей автор использовал оригинальную установку, отражающую реальные условия трения и износа и зоне локального тяжелонагруженного контакта. Процесс изнашивания пары шар-диск изучали на трибометре NANOVEA TRB с программным обеспечением. Среди характеристик механических свойств автор оценивал твердость и предел прочности при сжатии. Все исследования сопровождались оценкой морфологии поверхностей и количественной характеристики элементов структурных составляющих с помощью современных светового и растрового электронных микроскопов и приставки для микроспектрального анализа.

Стиль описания используемой исследовательской аппаратуры, продуманность и выбор корректных регистрируемых характеристик, последовательность их применения свидетельствуют о высоких профессиональных навыках Камалетдиновой Р.Р. как экспериментатора.

**Третья глава** посвящена описанию результатов экспериментальных исследований по оценке влияния состава керметов и покрытий на их эксплуатационные характеристики. При этом эксперименты и анализ результатов предусматривали возможность изучения влияния температуры, давления и среды. Приведены заслуживающие внимания экспериментальные данные по микротвердости керметов, изменению предела прочности испытываемых материалов в зависимости от состава и температуры опытов, характеристик адгезионного взаимодействия при контактировании тел под нагрузкой. Показано, для условий сухого трения и трения в среде сырой нефти зависимость характеристики прочности адгезионных связей на срез от величины давления на контакте для конкретных условий испытаний является линейной биномиальной функцией со свободным членом  $\tau_0$  (при нулевом давлении на контакте) и коэффициентом пропорциональности  $\beta$  (коэффициентом упрочнения адгезионных связей).

Полученный автором результат был вполне предсказуем; он подтверждает известные законы теории внешнего трения, а в данном случае дает возможность научно-обоснованно выбирать состав керметов для решения конкретных инженерных задач. Автором убедительно экспериментально показано, что на характеристики нагруженного контакта: несущую способность, на параметры  $\tau_0$  и  $\beta$ , предельную прочность адгезионных связей на срез существенное влияние оказывают состав кермета и температура на контакте. Установлено значительное повышение несущей способности фрикционного контакта в результате нанесения на поверхность изделий из керметов покрытий нитридов металлов.

**Четвертая глава** содержит материал, который решает задачу, выявленную в эксплуатации и связанную с одновременным износом обеих составляющих пары трения шар-седло. Для решения этой задачи оценивался суммарный износ при трении прямых и обратных пар с металлическими и керамико-металлическими подложками без покрытий и с покрытиями.

Оценка износа при трении прямых и обратных пар позволила автору сделать вывод, что основным механизмом поверхностного разрушения является адгезионно-усталостное изнашивание. При этом износ более мягких образцов (седла) связан также с абразивно-механическим изнашиванием выкрашивающимися твердыми включениями карбида титана из материала шара.

Основным результатом этой части работы является эмпирическая зависимость суммарного износа пары от коэффициента упрочнения адгезионных связей,

которая выражается степенной функцией. Выявленное автором соотношение имеет два аспекта: во-первых, подтверждает ведущую роль адгезионного взаимодействия в уровне поверхностного разрушения при контакте исследуемых материалов и, во-вторых, оно может служить дополнительным инструментом для выбора материалов при проектировании запорной арматуры и прогнозировании ее работоспособности с позиций триботехники.

В этой же части работы приведены некоторые результаты металлографического анализа поверхностей трения, которые выявили образование вторичных структур и подтвердили сформулированные представления о путях повышения эффективности применения керметов на основе карбидов титана в запорной арматуре.

В пятой главе описаны результаты практической реализации рекомендованных средств повышения эффективности применения керметов в запорной арматуре. Сформулированы представления о том, что для повышения качества работы шаровых кранов необходимо обратить особое внимание на мероприятия по уменьшению характеристик адгезионного взаимодействия контактирующих поверхностей, в частности использование износостойких покрытий. Результаты стендовых испытаний подтвердили, что для достижения требуемого качества работы шаровых кранов необходимо обе детали пары трения изготавливать из керметов и наносить на их поверхности износостойкие покрытия.

**Внутреннее единство структуры работы.** Содержание и структура работы отвечают критериям внутреннего единства и логической цепочки.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и охватывает все ее разделы. Результаты экспериментальных и теоретических исследований достаточно полно отражают поставленные цели и задачи. Выводы по работе полностью отражают результаты, полученные в процессе экспериментальных и теоретических исследований, являются структурированными и логически завершенными. Работа в целом методично выполнена и оформлена.

**Полнота публикаций.** По результатам работы опубликовано 17 научных статей, из которых 11 опубликованы в рецензируемых научных журналах из списка ВАК. Работа обсуждалась на 7 научно-технических конференциях. Это свидетельствует о широком информировании научного общества о результатах диссертационной работы Камалетдиновой Р.Р. Публикации достаточно полно отражают основное содержание диссертации. В диссертационной работе материал имеет ссылки на авторов и источник заимствования.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Диссертация соответствует паспорту заявленной специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах» по пунктам: 3 – «Закономерности различных видов изнашивания и по-

верхностного разрушения»; 7 – «Триботехнические свойства материалов, покрытий и модифицированных поверхностных слоев».

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В третьей главе приведены величины микротвердости исследуемых материалов HV<sub>0,1</sub> и HV<sub>0,2</sub>, т.е. оценка величины микротвердости проводилась при двух нагрузках. Следовательно, глубина проникновения индентора в поверхностный слой разная. Полученные характеристики механических свойств на двух глубинах индентирования существенно отличаются. Это говорит о том, что конструкционный материал обладает градиентом механических свойств по нормали к поверхности, и он положительный. Эта закономерность сохраняется и для случая нанесения на поверхность износостойких покрытий. К сожалению, автор не отмечает этот важный экспериментальный факт, который является весьма существенным при обсуждении достигаемых триботехнических параметров.

2. Задача о свойствах так называемого «третьего» тела в зоне контактного взаимодействия, а именно пластичности и энергии активации вязкого течения, в работе не ставилась и, соответственно, не решалась, ни в теоретическом, ни в экспериментальном плане. Поэтому положения относительно роли третьего тела, которые другими научными школами достаточно широко теоретически и экспериментально исследовались, использовать как вывод и результат данной конкретной работы, не следует.

3. В работе предельно мало уделено внимания величине и роли деформационной составляющей коэффициента трения; основная часть работы посвящена экспериментальной оценке величины адгезионной составляющей коэффициента трения. В реальных же условиях коэффициент трения имеет две составляющие: деформационную и молекулярную.

4. Недостаточна глубина анализа экспериментальных результатов металлофизического исследования. Имея в распоряжении современный инструментарий – световую и электронную микроскопию, элементный микроанализ, автор только констатирует образование на поверхности трения оксидов, называя их вторичными структурами. При этом не затрагиваются основные физико-химические процессы в зоне контактного взаимодействия, описание которых позволило бы автору составить более целостную и глубокую картину о причинах изменения уровня поверхностного разрушения исследуемых материалов.

Следует заметить, что сделанные замечания в явном виде отражают слабые элементы работы, но при этом в целом положительное отношение к работе сохраняется.

### Заключение

На основе экспертизы представленной работы можно сделать выводы, что диссертационная работа Камалетдиновой Регины Рамилевны выполнена на актуальную тему, содержит новые научные результаты, которые являются достоверными и обоснованными. Диссертационная работа является законченным научным квалификационным исследованием, посвященным проблеме фрикционного материаловедения. На основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научно обоснованные технические решения повышения эффективности работы трибосистемы шар-седло с использованием керметов и износостойких покрытий, внедрение которых вносит существенный вклад в повышение эффективности эксплуатации трубопроводной запорной арматуры.

Представленная Камалетдиновой Р.Р. диссертационная работа соответствует требованиям п.9 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г., № 842 (ред. от 02.08.2012 г.) «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор – Камалетдинова Регина Рамилевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах».

Официальный оппонент,  
заведующая лабораторией методов и технологий упрочнения  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
«Институт машиноведения им. А.А.Благонравова  
Российской академии наук»,  
доктор технических наук,  
профессор

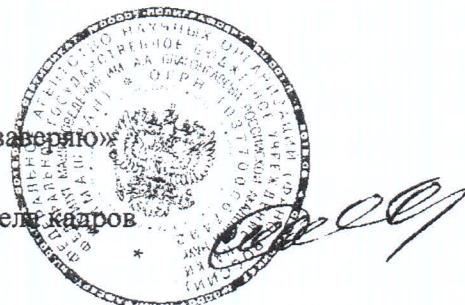
Куксенова Лидия Ивановна

«30» 11 2016 г.

101990, г.Москва, Малый Харитоньевский пер., д.4  
тел. 8-499-135-89-16; 8-910-426-08-56  
[lkukc@mail.ru](mailto:lkukc@mail.ru)

Подпись Куксеновой Л.И. «заряжую»

Заместитель начальника отдела кадров



С.И.Демидова