

ОТЗЫВ

**официального рецензента на диссертационную работу Буйткенова Дастана Болатулы
«Структурно-фазовые состояния и свойства детонационных покрытий на основе карбосилицида титана до и после импульсно-плазменной
обработки» на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060400 – «Физика»**

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	<p>1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:</p> <p>1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</p> <p>2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы)</p> <p>3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)</p>	<p>Диссертационная работа докторанта выполнялась в рамках его участия в качестве научного сотрудника в проекте по государственному программно-целевому финансированию научных исследований на 2018-2020 гг. по теме «Исследования и разработка инновационных технологий получения износостойких материалов для изделий машиностроения» (ИРН BR05236748, номер госрегистрации – 0118PK00989, договор №197 от 16.03.2018г.), руководитель проекта PhD, ассоциированный профессор кафедры физики и технологий Рахадиллов Б.К.</p> <p>Также, в рамках участия в качестве ответственного исполнителя проекта по государственному грантовому финансированию на 2020-2021 гг. по теме «Разработка способа упрочнения и восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин» (номер госрегистрации - 0120PK00587, договор №223 от 12.11.2020г.), руководитель проекта PhD Әділқанова М.Ә.</p> <p>Диссертация на тему «Структурно-фазовые состояния и свойства детонационных покрытий на основе карбосилицида титана до и после импульсно-плазменной обработки» (дата утверждения: Протокол №2 от 25 октября 2018 года, дата корректировки: Протокол №3 от 28 октября 2021 года) на дату утверждения соответствуют приоритетному направлению развития науки 2021-2023 годы, в частности 3.Энергетика и машиностроение утвержденный протоколом заседания Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан 29.04.2020.</p>
2.	Важность для науки	Работа вносит /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта /не раскрыта	Диссертационная работа Буйткенова Д.Б. вносит значимый вклад в науку, а ее результаты способствуют решению прикладных проблем физики твердого тела, материаловедения и машиностроения. Предложены эффективные пути повышения износостойкости детонационных покрытий на основе карбосилицида титана с применением импульсно-плазменной обработки. Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании технологии получения износостойких

			покрытий на основе МАХ-фаз для повышения срока службы стальных деталей, в частности деталей почвообрабатывающих машин, работающих в условиях абразивного износа и сухого трения.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <u>Высокий;</u> 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	Соискатель обладает высоким уровнем самостоятельности, поскольку все экспериментально-исследовательские результаты в рамках диссертационной работы были выполнены автором самостоятельно. К тому же автор являлся ответственным исполнителем проекта по грантовому финансированию на 2020-2021гг. «Разработка способа упрочнения и восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин», в рамках которого выполнялась диссертационная работа.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>Обоснована;</u> 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Актуальность исследования хорошо обоснована: Поскольку в последние десятилетия все больший интерес представляет получение композиционных покрытий на основе МАХ-фазы. Интерес к МАХ-фазам (например, карбосилицид титана Ti_3SiC_2) объясняется уникальным сочетанием в нем свойств металла и керамики: как керамика он жесткий, легкий, высокопрочный и износостойкий, имеет высокую температуру плавления, при этом легко обрабатывается как металлы. Также системы Ti-Si-C имеют хорошие характеристики в условиях абразивного износа, коррозии, а также относительно низкую стоимость. Сочетание высокой износостойкости и коррозионно-стойкости позволяет использовать этот материал в качестве износостойких покрытий. Поэтому изучение закономерностей формирования структурно-фазовых состояний и трибологических свойств покрытий на основе карбосилицида титана в зависимости от технологического режима детонационного напыления и от последующих термической и импульсно-плазменной обработок представляется актуальной.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>Отражает;</u> 2) Частично отражает; 3) Не отражает	Содержание отражает тему настоящей диссертации. Представленные главы и ее разделы, заключение, положения и выводы согласуются и посвящены исследованию формирования детонационных покрытий на основе карбосилицида титана в зависимости от технологических режимов напыления, а также изучению влияния последующих термической и импульсно-плазменной обработок на структурно-фазовые состояния и свойства покрытий.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) <u>соответствуют;</u> 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют	Цель и задачи полностью соответствуют теме диссертации. Задачи взаимосвязаны, последовательны и направлены для достижения цели диссертации.
		4.4 Все разделы и положения	Все разделы и положения диссертации полностью взаимосвязаны, для защиты

		<p>диссертации логически взаимосвязаны:</p> <p>1) полностью взаимосвязаны; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует</p>	<p>положений в разделах представлены экспериментальные результаты. Методы исследования, положения, выносимые на защиту, результаты и выводы согласованы друг с другом. Диссертация представляет из себя законченную научно-исследовательскую работу все главы которой имеют логическую цепочку повествования.</p>
		<p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p> <p>1) критический анализ есть; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов</p>	<p>На основе критического анализа ранее известных решений диссертантом Буйткеновым Д.Б. предложены и аргументированы собственные принципы, отражающие содержание диссертационного исследования, поставлены задачи и методы получения результатов этого исследования.</p>
5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <p>1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Научные результаты и положения диссертации являются новыми. При выполнении диссертационной работы впервые детально:</p> <p>1) рассмотрены возможности применения детонационного напыления для получения покрытий на основе карбосилицида титана (Ti_3SiC_2), который обеспечивает низкую степень разложения МАХ-фаз; 2) изучены влияния импульсно-плазменной обработки на структурно-фазовые состояния и свойства (твердость и износостойкость) детонационных карбосилицидных покрытий.</p>
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Полученные автором результаты и выводы являются полностью новыми, поскольку основываются на экспериментальных исследованиях автора диссертации. Результатом диссертационной работы является новый комбинированный способ получения износостойкого покрытия, включающий детонационное напыление и последующую обработку импульсно-плазменным воздействием.</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <p>1) полностью новые;</p>	<p>Полнота новизны технических и технологических решений подтверждается.</p> <p>На основе оценки влияния основных параметров режима детонационного напыления на структурно-фазовые состояния и свойства покрытий сделан обоснованный выбор рационального режима нанесения покрытий. На основе полученных данных разработан новый комбинированный способ получения износостойкого покрытия, включающий детонационное напыление и последующую</p>

		<p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>обработку импульсно-плазменным воздействием и предложено ее применение в качестве финишной обработки для дополнительного повышения механико-трибологических характеристик поверхностных слоев покрытий. Разработанный способ защищен патентом на полезную модель «Способ получения износостойкого покрытия» (№6659 опуб. 12.11.2021г.).</p>
6.	Обоснованность основных выводов	<p>Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)</p>	<p>Обоснованность и достоверность каждого результата (научного положения) подтверждаются объемом и статистикой экспериментальных данных, их анализом, публикациями результатов исследований в международных научных изданиях и полученным патентом РК.</p> <p>Выводы соискателя характеризуются внутренним единством и полным соответствием положениям диссертации.</p> <p>Заключение, сформулированное по результатам работы, согласуется с актуальностью и основным содержанием работы, а также является изложенным в логической последовательности выводом.</p>
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение? 1) доказано;</p> <p>2) скорее доказано;</p> <p>3) скорее не доказано;</p> <p>4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет</p> <p>7.3 Является ли новым? 1) да; 2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий</p> <p>7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет</p>	<p>Положение №1. Формирование структурно-фазового состава и свойств покрытий на основе карбосилицида титана в зависимости от технологических параметров детонационного напыления. Получения покрытий на основе карбосилицида титана при детонационном напылении со следующими параметрами: объем взрывчатой смеси кислород-ацетилен 60 % с соотношением $O_2/C_2H_2=1,856$, дистанция напыления 50 мм, обеспечивает высокую твердость (~1000HV) и износостойкость за счет минимального разложения фазы Ti_3SiC_2 (содержание фаз 39 вес.%). При увеличении объема заполнения детонационного ствола взрывчатой газовой смесью до 70 % из-за высокотемпературной ударной волны происходит разложение Ti_3SiC_2 (MAX-фазы) и уменьшение её объемной доли в составе покрытий до 29 вес.%.</p> <p>7.1 Доказано ли положение? Доказано;</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? Нет;</p> <p>7.3 Является ли новым? Да;</p> <p>7.4 Уровень для применения: Широкий;</p> <p>7.5. Доказано ли в статье? Да.</p> <p>Результаты опубликованы в журналах, рекомендованных КОКСОН, в</p>

рецензируемом журнале, входящем в базы Scopus и Web of Science:

1. Rakhadilov, B.; **Buitkenov, D.**; Sagdoldina, Z.; Seitov, B.; Kurbanbekov, S.; Adilkanova, M. Structural Features and Tribological Properties of Detonation Gun Sprayed Ti-Si-C Coating. *Coatings* 2021, 11, 141, (**процентиль в Scopus – 51%**), (**квартиль журнала в Web of Science – Q2**) (*IF – 2.436*)

2. Rakhadilov B.K., **Buitkenov D.B.**, Tuyakbaev B.T., Sagdoldina Zh.B., Kenesbekov A.B., Structure and properties of detonation coatings based on titanium carbosilicide, *Key Engineering Materials*, 2019, 301-306. (**процентиль в Scopus – 25%**)

3. **Buitkenov D.B.** Rakhadilov B. K., Wieleba W., Kilyshkanov M.K., Yerbolatuly D. Impact of the detonation gas spraying mode on the phase composition and adhesional strength of Ti-Si-C coatings, *Bulletin of the University of Karaganda-Physics*, 2020, 1, 59-64.

4. B.K. Rakhadilov, **D.B. Buitkenov**, Zh.B. Sagdoldina, M. Maulet, Obtained of powder coatings by detonation spraying, *Eurasian Journal of Physics and Functional Materials*, 2020, 4(3), 184-190.

Положение №2. Изменение структуры и свойств детонационных покрытий на основе карбосилицида титана в зависимости от температуры нагрева. В результате термической обработки при температуре 700-900 °С в течение 1 ч в покрытиях на основе карбосилицида титана наблюдается структурно-фазовое превращение с незначительным увеличением объемной доли МАХ-фазы (Ti_3SiC_2) и выравнивание микроструктуры покрытий. Термическая обработка при 800 °С в течении 1 ч приводит к увеличению микротвердости и износостойкости покрытий приблизительно в 2,0-2,5 раза по сравнению с образцами до отжига.

7.1 Доказано ли положение?

Доказано;

7.2 Является ли тривиальным?

Нет;

7.3 Является ли новым?

Да;

7.4 Уровень для применения:

Широкий;

7.5. Доказано ли в статье?

Да.

Результаты опубликованы в журналах, рекомендованных КОКСОН, в рецензируемом журнале, входящем в базы Scopus и Web of Science:

1. Rakhadilov, B.; **Buitkenov, D.**; Sagdoldina, Z.; Seitov, B.; Kurbanbekov, S.;

Adilkanova, M. Structural Features and Tribological Properties of Detonation Gun Sprayed Ti-Si-C Coating. *Coatings* 2021, 11, 141, (процентиль в Scopus – 51%), (квартиль журнала в Web of Science – Q2) (IF – 2.436)

2. Rakhadilov B.K., Maksakova O.V., **Buitkenov D.B.**, Kylyshkanov M.K., Pogrebnyak A.D., Antypenko V.P., Konoplianchenko Ye.V., Structural-phase and tribo-corrosion properties of composite Ti_3SiC_2/TiC MAX-phase coatings: an experimental approach to strengthening by thermal annealing. *Applied Physics A*, 2022, 128(2), 1-11, (процентиль в scopus – 55%), (квартиль журнала в Web of Science – Q3, IF 2.584)

3. **Buitkenov D.**, Rakhadilov B, Erbolatuly D., Sagdoldina Zh., Influence of Heat Treatment on the Phase Composition and Microhardness of Coatings Based on Ti_3SiC_2/TiC , *Key Engineering Materials*, 2020, Vol.839, P.137-143. (процентиль в scopus – 25%)

4. B. Rakhadilov, **D. Buitkenov**, Zh. Sagdoldina, R. Kozhanova, M. Maulet and A. Maulit, "Properties of Detonation Coatings After Thermal Annealing," 2020 IEEE 10th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NA17P), Sumy, Ukraine, 2020, pp. 01TFC02-1-01TFC02-3.

5. **Buitkenov Dastan**, Rakhadilov Bauyrzhan, Erbolatuly Dosym, Sagdoldina Zhuldyz «Reserach of the mechanic-tribological characteristics of Ti_3SiC_2/TiC coatings after annealing», *Eurasian Journal of Physics and Functional Materials*, 2020, 4(1), 86-9

6. **Buitkenov D.**, Rakhadilov B., Erbolatuly D., Sagdoldina Zh., Influence of Structural-Phase Condition on the Mechanical-Tribological Properties of Ti_3SiC_2 Coatings Obtained by the Detonation Method, ISSN 0208-7774. *TRIBOLOGIA* 5/2019. P.25-32

Положение №3. Особенности структурно-фазовых превращений детонационных покрытий на основе карбосилицида титана при импульсно-плазменной обработке. После импульсно-плазменной обработки при следующих режимах: электрод W, частота 1,2 Гц, скорость прохода 5 мм/сек, количество проходов 1, дистанция обработки 50 мм, содержание MAX-фазы в составе детонационных покрытий увеличивается примерно в 1,7 раза. Обработка покрытий потоками импульсной плазмы позволяет формировать модифицированный слой толщиной до 20 мкм. Модифицирование структурно-фазового состояния приповерхностных слоев карбосилицидных покрытий приводит к изменению их механических характеристик: увеличению микротвердости поверхности до 1,8 раз, уменьшению коэффициента сухого трения 1,5-2,0 раза и повышению износостойкости образцов.

7.1 Доказано ли положение?

Доказано;

7.2 Является ли тривиальным?

			<p>Нет; 7.3 Является ли новым?</p> <p>Да; 7.4 Уровень для применения:</p> <p>Широкий; 7.5 Доказано ли в статье?</p> <p>Да. Результаты опубликованы в журналах, рекомендованных КОКСОН, в рецензируемом журнале, входящем в базы Scopus и Web of Science и защищён патентом на полезную модель:</p> <p>1. Bauyrzhan Rakhadilov, Dastan Buitkenov, Zhanat Idrisheva, Manira Zhamanbayeva, Sapargali Pazylbek Daryn Baizhan. Effect of Pulsed-Plasma Treatment on the Structural-Phase Composition and Tribological Properties of Detonation Coatings Based on Ti-Si-C. Coatings 2021, 11, 795. https://doi.org/10.3390/coatings11070795, <i>(процентиль в scopus – 52%), (квартиль журнала в Web of Science – Q2, IF 2.881)</i></p> <p>2. В. К. Rakhadilov, D. B. Buitkenov, Adilkhanova M., Zh. B. Sagdoldina, Sh.R. Kurbanbekov Influence of pulse plasma treatment on the phase composition and microhardness of detonation coatings based on Ti-Si-C. Bulletin of the university of Karaganda — Physics № 2(102)/2021</p> <p>3. Рахадиллов Б.К., Буйткенов Д.Б., Колиснеченко О.В., Ескермесов Д.К., Тоимбаев А.Б. Импульсно-плазменное модифицирование поверхности детонационных покрытий на основе Ti-Si-C, Международная конференция «Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии», Томск, 2021, С. 263-262, DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-164</p> <p>4. Патент на полезную модель №6659, заявл. 03.08.21; опубл. 12.11.21, Бюл. №6659, Способ получения износостойкого покрытия, Рахадиллов Б.К. Сағдолдина Ж.Б., Кылышканов М.К., Буйткенов Д.Б.</p>
8.	Принцип достоверности Достоверность источников и	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) да; 2) нет	Выбор методов и методических подходов обоснован. Диссертационное исследование было проведено соискателем с использованием уникальных оборудований, технологических и аналитических методов, сертифицированных расчетных программ. Выбранная автором методология качественно и подробно описана.

	предоставляем ой информации	8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) да; 2) нет	Выявленные взаимосвязи и закономерности, а также сделанные теоретические выводы, полностью доказаны и подтверждены экспериментальными исследованиями.
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): 1) да; 2) нет	Работа носит экспериментальный характер, поэтому выявленные взаимосвязи и закономерности, а также выводы обоснованы и подтверждены экспериментальными результатами и их сравнением с известными из литературных источников, достоверными результатами, которым они не противоречат.
		8.4 Важные утверждения подтверждены /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	Важные утверждения подтверждены ссылками на цитируемую литературу. Полученные результаты анализируются в сравнении с известными опубликованными данными.
		8.5 Использованные источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора	Список литературных источников в диссертационной работе насчитывает 224 научных и актуальных источников, которых вполне достаточно для проведения аналитического литературного обзора по теме диссертации
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) да; 2) нет	Диссертация имеет теоретическое значение, поскольку полученные результаты дают более глубокое понимание процессов, происходящих при формировании покрытий на основе карбосилицида титана методом детонационного напыления, а также процессов, происходящих при модифицировании покрытий на основе

			карбосилицида титана методом импульсно-плазменной обработки.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) да; 2) нет	Диссертационная работа имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике для повышения срока службы стальных деталей, в частности деталей почвообрабатывающих машин, работающих в условиях абразивного износа и сухого трения.
		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Степень новизны практических рекомендаций и предложений достаточно высокая. Предложения для практики являются полностью новыми.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Диссертация написана грамотным научно-техническим языком, доступным стилем, читается легко. В целом диссертационная работа носит законченный исследовательский характер, а результаты являются достоверными.

В целом, диссертационная работа Буйткенова Д.Б. «Структурно-фазовые состояния и свойства детонационных покрытий на основе карбосилицида титана до и после импульсно-плазменной обработки» выполнена на высоком научном уровне, представляет собой законченную самостоятельную научно-исследовательскую работу, по содержанию и оформлению соответствует требованиям, предъявляемым Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК к PhD диссертациям, а ее автор Буйткенов Дастан Болатулы несомненно заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060400 – «Физика».

Официальный рецензент:

Доктор технических наук, профессор,
директор производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова»

Подпись Ситникова Александра Андреевича удостоверяю.
Ученый секретарь Ученого совета АлтГТУ,
кандидат филологических наук, доцент



(Handwritten signature)

А.А. Ситников

Т.А. Головина