

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

**1. Актуальность темы исследования и ее связь с общенаучными и общегосударственными программами**

В настоящее время наблюдается потребность в недорогих, но высокоэффективных технологиях модификации поверхности и нанесения защитных покрытий, позволяющих повысить эксплуатационные характеристики стальных изделий. Знание закономерностей диффузионных процессов и изучение кинетики превращений, происходящих при нанесении покрытий позволит существенно повысить эффективность поиска оптимальных методов их обработки. В настоящее время наиболее эффективным считается применение высокоскоростных технологий напыления покрытий, которые характеризуются высокой производительностью, универсальностью и простотой в управлении технологических параметров. А также интенсивно развиваются методы обработки поверхности изделий с применением комбинированных технологий, которые стимулируют процесс изменения структурно-фазового состояния материала, тем самым получая модифицированный поверхностный слой или покрытие с заданными свойствами.

Диссертационная работа соискателя Буйткенова Д.Б. посвящена исследованиям 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. В работе определен оптимальный режим детонационного напыления покрытий  $Ti_3SiC_2$ , который обеспечивает низкую степень разложения МАХ фаз ( $Ti_3SiC_2$ ) и сравнительно высокие значения адгезионной прочности, твёрдости и износостойкости покрытий. Сравнительный анализ результатов изучения влияния последующих термической и импульсно-плазменной обработки на структурно-фазовые состояния и свойства покрытий показал эффективность модифицирования поверхности детонационных покрытий методом импульсно-плазменной обработки, который позволяет повысить твёрдость и износостойкость покрытий за счет увеличения количества МАХ-фаз.

Актуальность выбранной темы подтверждается необходимостью создания защитных износостойких покрытий в виде однофазного продукта из-за разложения МАХ-фаз при высоких температурах нанесения покрытий. Существующие различные методы получения покрытий из МАХ-фаз является далекими от совершенства и требует разработки новых способов их получения. Большими возможностями в этом плане обладает детонационный метод нанесения покрытий, а также можно применить комбинированные метода обработки. Анализ

литературных данных показал, что нет общего мнения о формировании структуры и свойств покрытий из карбосилицида титана в зависимости от технологического режима детонационного напыления. А также нет данных о влиянии импульсно-плазменной обработки на структурно-фазовые состояния и свойства детонационных покрытий. В связи с этим тема диссертационной работы Д.Б. Буйткенова является актуальной.

Результаты, представленные в данной диссертационной работе, соответствуют приоритетному направлению развития науки «Энергетика и машиностроение». Работа выполнена в соответствии со следующими проектами, финансируемыми Комитетом науки МОН РК:

– BR05236748 «Исследования и разработка инновационных технологий получения износостойких материалов для изделий машиностроения», программно-целевое финансирование на 2018-2020 гг., договор №197 от 16.03.2018 г.;

– AP08957719 «Разработка способа упрочнения и восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин», грантовое финансирование на 2020-2021 гг., договор №223 от 12.11.2020 г.

## **2. Научные результаты и их обоснованность**

Цель и задачи, поставленные в диссертационной работе достигнуты и полностью решены в ходе исследования, рассмотрены возможности применения детонационного напыления для получения покрытий на основе карбосилицида титана ( $Ti_3SiC_2$ ). Условием получения покрытий при детонационном напылении, обеспечивающим высокую твердость и износостойкость за счет минимального разложения фазы  $Ti_3SiC_2$  (МАХ-фаз), является установление режима напыления со следующими параметрами: объем взрывчатой смеси кислород-ацетилен 60 % с соотношением  $O_2/C_2H_2=1,856$ , дистанция напыления 50 мм. При увеличении объема заполнения детонационного ствола взрывчатой газовой смесью до 70 % из-за высокотемпературной ударной волны происходит разложение МАХ-фазы ( $Ti_3SiC_2$ ) и уменьшение её объемной доли в составе покрытий.

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 течение 1 ч приводит к увеличению микротвердости и износостойкости покрытий приблизительно в 2,0-2,5 раза по сравнению с образцами до отжига

После импульсно-плазменной обработки содержание МАХ-фазы в составе детонационных покрытий увеличивается примерно в 1,7 раза. Обработка покрытий потоками импульсной плазмы позволяет сформировать 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.

### **3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата (научного положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации**

Достоверность научных положений, выносимых на защиту, выводов и заключения соискателя не вызывает сомнения.

Достоверность результатов обеспечивается использованием современных методов изучения структуры, химического и фазового состава, профиля поверхности, механических и трибологических испытаний, большими объемами и повторяемостью экспериментальных данных. Результаты исследования, проведенные в диссертационной работе, не противоречат известным научным представлениям и результатам.

### **4. Степень новизны каждого научного результата (положения), вывода соискателя, сформулированных в диссертации**

В диссертационной работе Буйткенова Д.Б. были впервые:

– рассмотрены возможности применения детонационного напыления для получения покрытий на основе карбосилицида титана ( $Ti_3SiC_2$ ), который обеспечивает низкую степень разложения МАХ-фаз. На основе оценки влияния основных параметров режима детонационного напыления на структурно-фазовые состояния и свойства покрытий сделан обоснованный выбор рационального режима нанесения покрытий;

– изучены влияния импульсно-плазменной обработки на структурно-фазовые состояния и свойства (твердость и износостойкость) детонационных карбосилицидных покрытий. На основе полученных данных разработан новый комбинированный способ получения износостойкого покрытия, включающий детонационное напыление и последующую 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.).

### **5. Практическая и теоретическая значимость научных результатов**

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 износа и трения.

### **6. Личный вклад**

Личный вклад соискателя состоит в участии в проведении экспериментов, получении результатов, изложенных в диссертации, обобщении и анализе полученных результатов, написании научных статей по теме диссертации.

Постановка задачи, формулировка основных выводов и положений диссертационной работы были проведены совместно с научными консультантами.

### 7. Замечания, предложения по диссертации

В ходе реализации поставленных задач в диссертационной работе соискатель Буйткенов Д.Б. проявил себя как высококвалифицированный и инициативный специалист, способный ставить и решать сложные научные задачи. Высокий профессиональный уровень позволил ему использовать в исследованиях современное исследовательское и производственное оборудования.

Главы диссертации спроектированы, логически взаимосвязаны и имеют внутреннее единство. Работа выполнена с соблюдением принципа академической честности.

Буйткенов Д.Б. регулярно представлял основные результаты диссертации на семинарах кафедры «Физика и технологии» и научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология» ВКУ имени Сарсена Аманжолова и на онлайн-семинарах PhD-докторантов региональных университетов (руководитель – Скаков М.К.).

Результаты диссертационной работы Буйткенова Д.Б. доложены на 9 международных научных конференциях. Он является соавтором 19 научных публикаций по теме диссертации, из них 5 статей в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 4 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, 9 работ в материалах республиканских и международных конференций, а также 1 патент на полезную модель Республики Казахстан.

Я убежден, что объём, уровень выполнения, точность, научно-практическая значимость и достоверность результатов, достигнутых соискателем Буйткеновым Д.Б., соответствуют всем требованиям, предъявляемым Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК к PhD-диссертационным работам и рекомендуется к защите.

С учетом вышеизложенного, считаю, что соискатель Буйткенов Дастан Болатулы, несомненно, заслуживает присуждения искомой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060400 – «Физика».

Отечественный научный консультант,  
доктор физико-математических наук,  
профессор



Кылышканов М.К.

*Подпись Кылышканова М.К.  
заверяю: спец-т по персоналу НЦ  
Т.А. Чернакова Т. Турнаев*