

**ОТЗЫВ**  
**ЗАРУБЕЖНОГО НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА**  
на диссертационную работу Жилкашиновой Асель Михайловны  
«Исследование структурно-фазового состояния и свойств  
композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y»,  
представленную на соискание степени доктора философии PhD  
по специальности 8D05301 – Физика

Тема диссертационной работы Жилкашиновой А.М. непосредственно связана с приоритетным научно-техническим направлением в Республике Казахстан – энергетика и машиностроение. Работа посвящена важному вопросу необходимости проведения исследований в части структурно-фазового состояния, а также взаимосвязи между структурой и свойствами покрытия, выявления и исследования новых явлений и закономерностей при изучении тонкопленочных материалов, которые могут стать основой создания принципиально новых технологий и устройств.

В диссертационной работе предложены и экспериментально обоснованы подходы и методики, позволяющие повысить качество исследования структурно-фазового состояния и свойств композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y. Путем выполнения большого числа расчетных исследований с применением современных компьютерных методов решения сложных физических задач, а также экспериментального подтверждения каждого выносимого на защиту положения, соискателем самостоятельно доказана эффективность предложенных подходов и методик.

Для каждой новой модификации деталей необходимо подбирать новое покрытие или корректировать технологию нанесения известного покрытия. Технические решения, предложенные автором, наряду с другими организационными и техническими мероприятиями, совершенствуют существующие составы покрытий и технологические процессы их нанесения, а также принципиально новые технологии для наиболее эффективной системы защиты основных узлов оборудования.

В диссертационной работе Жилкашиновой А.М. исследованы структурно-фазовое состояние и свойства композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y, полученного на основе разработанного способа магнетронного нанесения, которое осаждали на подложку из монокристаллического кремния с кристаллографической ориентацией [100]. Для сравнения структуры, морфологии и механических свойств многослойных покрытий Cr-Al-Co-Y были получены покрытия из 1, 2, 4 и 8 чередующихся слоев.

В диссертации также рассматривается вопрос исследования возможности увеличения ресурса турбин за счет построения экспериментально-расчетного метода, который позволяет найти оптимальное сочетание состава покрытий и градиента его распределения по поверхности лопатки газотурбинных двигателей.

Предметом исследования является композиционное покрытие Cr-Al-Co-Y, полученное на основе разработанного магнетронного способа нанесения. Объектом исследования - структурно-фазовые состояния и свойства композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y.

Цель работы - исследовать структурно-фазовое состояние и свойства композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y, полученного на основе разработанного способа магнетронного нанесения.

Для достижения поставленной в работе цели автором поставлены следующие задачи:

- 1) разработать магнетронный способ нанесения композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y;
- 2) исследовать структурно-фазовые состояния и свойства композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y;
- 3) установить влияние термической обработки на структурно-фазовые состояния и свойства композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y.

Жилкашиновой А.М. на защиту вынесены следующие положения:

1. Магнетронный способ нанесения композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y
2. Результаты, характеризующие структурно-фазовое состояние и свойства композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y
3. Закономерности изменения структурно-фазового состояния и свойств композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y в зависимости от температуры.

Анализ полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований позволил автору сделать следующие выводы:

1. Разработан магнетронный способ нанесения композиционных покрытий Cr-Al-Co-Y, который позволяет формировать плотные покрытия без ярко выраженной столбчатой структуры, характерной для металлических покрытий. Определены оптимальные режимы нанесения композиционных покрытий. Получены многослойные (1-но, 2-х, 4-х и 8-мислойные) покрытия с управляемой концентрацией составляющих элементов Cr, Al, Co, Y.

2. Изучено структурно-фазовое состояние многослойных покрытий Cr-Al-Co-Y. Исследования показали, что в покрытиях формируется развитая межфазная граница между покрытием и подложкой, а также между самими слоями, что хорошо видно на всех образцах. Установлено, что многослойные покрытия в исходном состоянии являются преимущественно рентгеноаморфными. При этом для 2-хслойного покрытия наблюдается наличие поликристаллических фаз (CoO,  $AlSi_{0,5}O_{2,5}$  и  $SiO_2$ ). Было отмечено, что концентрация хрома в покрытии растет с увеличением количества слоев, с пропорциональным уменьшением количества кобальта. Установлено, что 4-хслойное покрытие обладает максимальным значением Ra шероховатости поверхности и микротвердости, что делает его наиболее трещиностойкой системой из всех исследуемых в данной работе. Обнаружено, что уровень эрозионной (абразивной) стойкости всех образцов составляет в среднем  $9,8598 \times 10^{-15}$  кг/см<sup>2</sup>, при этом 4-х и 8-ми слойные покрытия, в отличие от 1-но

и 2-хслойных, показывают повышение стойкости на 7-9%.

3. Изучены особенности влияния термической обработки на структурно-фазовые состояния и свойства композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y. Выявлено, что основным процессом, происходящим при термической обработке является формирование фазы шпинельного типа ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{AlSi}_{0.5}\text{O}_{2.5}$ ,  $\text{CrAl}_{0.42}\text{Si}_{1.58}$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoCr}_2\text{O}_4$ ). Их окончательное формирование для всех многослойных покрытий происходит в диапазоне температур 800-1000°C. Установлено, что структура подвергшихся термическому воздействию образцов столбчатая, наличие слоев хорошо различимо во всех режимах ПЭМ и РЭМ. Было замечено, что содержание кобальта с увеличением температуры отжига уменьшается. Показано, что с повышением температуры значения микротвердости и шероховатости покрытий увеличиваются. Было обнаружено незначительное увеличение эрозионной (абразивной) стойкости ( $9,0122 \times 10^{-15}$  кг/(с\*м<sup>2</sup>)) после термообработки при 400 °С, по сравнению с теми же образцами в исходном состоянии. В результате исследований установлено, что значение эрозионной (абразивной) стойкости отожженных образцов в среднем уменьшилось на 16%.

4. По результатам расчетно-экспериментального метода прогнозирования ресурса покрытий и схемы строения покрытий установлено, что рабочая поверхность лопаток ГТД имеет неравномерный износ. При этом расчёты показали, что ресурс рабочей поверхности лопаток ГТД с покрытиями на основе Cr-Al-Co-Y примерно в два раза выше, чем материала без покрытий.

Следует отдельно отметить то, что весомая часть диссертационной работы выполнена в рамках научно-технической программы, реализуемой в рамках г/б проекта МОН РК № 306/2020 (договор № 113 от 01 июня 2020 года) на тему: «Создание композиционных покрытий для повышения эксплуатационных свойств ответственных узлов промышленного оборудования» (2020–2022 годы)».

Жилкашинова А.М. докладывала об основных результатах диссертационной работы на 12 международных конференциях, а также является соавтором 13 научных статей по теме диссертации, включая статьи в журналах, индексируемых в базе Scopus и Web of Science.

Достоверность результатов, представленных в работе, базируется на системности проведенных расчетно-экспериментальных исследований, включающих комплекс методических экспериментов по обоснованию предложенной методики, а также на результатах сравнения полученных данных с данными, полученными при применении другой независимой методики.

Главы диссертации структурированы, логически взаимосвязаны и имеют внутреннее единство. Она представляет собой квалифицированную, завершённую работу и вызывает огромный интерес специалистов на металлургических предприятиях, занимающихся вопросами создания

высокопрочных металлических изделий, созданием инновационных технологий поверхностной обработки материалов. Работа выполнена с соблюдением принципа академической честности.

Экспериментальные результаты получены лично автором в соавторстве с сотрудниками ФГА ОУВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет (г. Томск, РФ), Центр коллективного пользования приборами и оборудованием «Высокие технологии и диагностика наносистем» ФГА ОУВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (г.Новосибирск, РФ), Национальной научной лаборатории коллективного пользования ВКУ С. Аманжолова и инженерного профиля ВКТУ им. Д. Серикбаева на основе договоров.

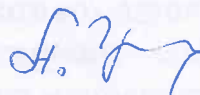
При выполнении данной диссертации Жилкашинова А.М. проявила себя как самостоятельный компетентный исследователь. В процессе работы над диссертацией автор освоил различные методы, овладел навыками работы в новых методиках. В результате проведенных автором экспериментов был получен ряд важных результатов, положенных в основу диссертационной работы.

Я уверен в том, что объем, уровень выполнения, точность, научно-практическая значимость и достоверность результатов, достигнутых Жилкашиновой А.М., соответствуют всем требованиям, определенным Комитетом по обеспечению качества в сфере образования науки МОН РК.

Диссертационная работа Жилкашиновой А.М. на тему «Исследование структурно-фазового состояния и свойств композиционного покрытия Cr-Al-Co-Y», представленная на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D05301 – «Физика», выполнена на высоком научном и методическом уровне.

На основании вышеизложенного, рекомендую представить диссертационную работу к защите и ходатайствую о присуждении Жилкашиновой Асель Михайловне степени доктора философии (PhD) по специальности 8D05301 – «Физика».

**Зарубежный научный консультант,  
доктор технических наук, профессор**



**А.В. Градобоев**

*Градобоев Александр Васильевич*, доктор технических наук, профессор Отделения экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Тел.: +7-913-866-8405

E-mail: [gradoboev1@mail.ru](mailto:gradoboev1@mail.ru), [gava@tpu.ru](mailto:gava@tpu.ru)

Подпись профессора А.В. Градобоева заверяю  
Ученый секретарь ФГАОУ ВО  
«Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»



**Е.А. Кулинич/**