

«Утверждаю»
Директор ИСМАН
н., профессор,
чл.-корр. РАН
М.И. Алымов
10 октября 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Кучумовой Иванны Денисовны «Структура и свойства покрытий с аморфной фазой, полученных методом детонационного напыления порошковых сплавов системы Fe-Cr-Nb-B», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение

На отзыв представлены:

- диссертационная работа объемом 201 страница, состоящая из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, состоящего из 258 наименований, и трех приложений;
- автореферат диссертации объемом 20 страниц, включающий восемь основных публикаций по теме диссертации из них: две статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК, и шесть статей в журналах, входящих в базы цитирования Scopus и Web of Science.

Актуальность темы диссертационной работы

Использование порошков сплавов с метастабильной аморфной структурой позволяет значительно расширить номенклатуру материалов, используемых для формирования защитных покрытий. Благодаря особенностям структуры, в частности, отсутствию дальнего порядка симметрии, аморфные сплавы являются перспективными материалами для нанесения на поверхности деталей, эксплуатирующихся в условиях изнашивания и воздействия агрессивных сред. В научной литературе представлен большой объем экспериментальных данных по исследованию структуры и свойств газотермических покрытий из многокомпонентных сплавов на основе железа. Исследования покрытий с аморфной структурой из четверных сплавов на основе железа, полученных методом детонационного напыления, не описаны.

В диссертационной работе Кучумовой И.Д. представлены результаты исследования структуры, механических, коррозионных и триботехнических свойств покрытий, полученных методом детонационного напыления порошков четверных сплавов на основе железа (Fe-Cr-Nb-B), которые имеют различную способность к аморфизации. На основании проведенных исследований автором диссертационной работы сформулированы технологические рекомендации для детонационного напыления порошков сплавов $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$ и $Fe_{62}Cr_{10}Nb_{12}B_{16}$ с размером частиц 20–40 мкм и 45–75 мкм, позволяющие формировать покрытия с низкой пористостью и комплексом полезных функциональных свойств.

Актуальность диссертационной работы и перспективность проведенных исследований подтверждается поддержкой грантами РФФИ, НИОКР НГТУ, Фонда содействия инновациям, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» и публикацией результатов исследований в ведущих научных журналах.

Содержание диссертационной работы отражает логику, методологию, результаты и выводы проведенных исследований. Автореферат достаточно полно отражает основные результаты диссертационной работы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, показана степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, положения, выносимые на защиту; представлены научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость, степень достоверности и апробация полученных результатов; отражен личный вклад автора, опубликованные работы по теме диссертации, структура и объем диссертационной работы.

В первой главе диссертационной работы проведен исчерпывающий анализ литературных источников по теме диссертационной работы, включающий особенности структуры и свойств объемных металлических стекол, основные методы газотермического напыления покрытий из порошков аморфных сплавов, вопросы стойкости покрытий с аморфной фазой к коррозии и изнашиванию. На основе анализа литературных данных о достигнутых результатах и имеющихся проблемах сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе описаны материалы исследования, методология теоретического подбора параметров детонационного напыления порошков аморфных сплавов системы Fe-Cr-Nb-V, оборудование для детонационного напыления покрытий и электроискрового спекания объемных материалов, методы коррозионных, механических и триботехнических испытаний разработанных материалов.

Третья глава посвящена теоретическому анализу процесса напыления порошков сплава $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5V_{19}$ и $Fe_{62}Cr_{10}Nb_{12}V_{16}$ при варьировании заряда (относительно объема ствола установки) и молярного соотношения ацетиленокислородной взрывчатой смеси, применению результатов расчетов в экспериментах по получению покрытий и исследованию структуры и фазового состава полученных покрытий и объемных материалов.

В четвертой главе диссертации представлены результаты исследования свойств покрытий и объемных материалов системы Fe-Cr-Nb-V. Показано, что детонационные покрытия характеризуются высокими показателями микротвердости, адгезии, коррозионной стойкости и износостойкости.

В пятой главе отражено практическое применение результатов исследований, представленных в диссертационной работе. Разработанные технологические параметры детонационного напыления применяются на ООО «Сибирские технологии защитных покрытий» и ООО «НПО Спецпокрытие».

В заключении представлены выводы, сформулированные по результатам проведенного исследования.

Основные научные результаты и их значимость для науки и производства

Диссертационная работа Кучумовой И.Д. по структуре и содержанию соответствует поставленной цели и задачам исследования. Представленные результаты исследования обладают научной новизной.

Соискателем Кучумовой И.Д. показано, что на основании данных о значениях скоростей и температур частиц, полученных с использованием программы LII, можно достаточно точно определить параметры детонационного напыления, позволяющие формировать качественные покрытия с высоким содержанием аморфной фазы. Установлено, что детонационное напыление позволяет формировать покрытия с низкой пористостью из порошков сплавов $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5V_{19}$ и $Fe_{62}Cr_{10}Nb_{12}V_{16}$, имеющих различную стеклообразующую способность. В рамках диссертационной работы методом электроискрового спекания при 600 °С были получены объемные материалы из сплава $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5V_{19}$, которые характеризуются низкой пористостью и частично кристаллической структурой. Исследовано влияние добавки керамического порошка на структуру и фазовый состав покрытий $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5V_{19}$.

Разработанные покрытия характеризуются высокими показателями микротвердости (~ 850 HV) и адгезии с подложкой (более 125 МПа). Износостойкость покрытий, полученных из порошка сплава $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5V_{19}$, в условиях абразивного изнашивания на 30 % выше, чем сталь 12X18H10T. При этом покрытия $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5V_{19}$ проявляют близкое

друг к другу поведение в условиях электрохимической коррозии (в растворе 3,5 масс. % NaCl с pH 3, 5, 10), распыляемого раствора нейтрального соляного тумана, абразивного изнашивания и царапания алмазным индентором Берковича. Стойкость детонационных покрытий из порошков сплавов $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$ и $Fe_{62}Cr_{10}Nb_{12}B_{16}$ в условиях трения скольжения при возвратно-поступательном перемещении контртела более чем в 5 раз выше, по сравнению со сталью 12X18H10T. Износостойкость спеченного сплава $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$ находится на уровне нержавеющей стали. Также автором были рассмотрены и предложены механизмы изнашивания и коррозии детонационных покрытий Fe-Cr-Nb-B с аморфной фазой.

Разработанные технологические рекомендации по детонационному напылению покрытий позволят снизить затраты предприятий на подбор режимов напыления и расширить перечень материалов, используемых для формирования защитных слоев. Результаты диссертационной работы применяются в учебном процессе в Новосибирской государственном техническом университете.

Достоверность научных положений, результатов и выводов, приведенных в диссертации, подтверждается использованием современного испытательного и аналитического оборудования. Представленные в работе экспериментальные данные не противоречат результатам, полученным другими учеными в области разработки функциональных покрытий из аморфных сплавов. Полученные результаты опубликованы в рецензируемых научных журналах, а также докладывались на Международных и Всероссийских научно-технических конференциях.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Использование стали 12X18H10T в качестве подложки и образца сравнения требует более подробного обоснования. Так как исследуемые в работе покрытия содержат значительное количество ниобия, было бы полезно, на наш взгляд, провести сравнение также со сталью, легированной ниобием.

2. Аморфные металлические стекла являются метастабильными фазами, которые переходят в кристаллическое состояние при нагревании. В диссертации отсутствуют данные о температуре аморфно-кристаллического перехода (девитрификации) полученных покрытий. Целесообразно провести такое исследование, так как эти данные необходимы для определения температурных условий эксплуатации изделий из жаропрочной стали с аморфными покрытиями.

3. Основное содержание диссертации относится к получению и исследованию детонационных покрытий, поэтому результаты по электроискровому спеканию объемных материалов выглядят избыточными и слабо связанными с основной темой исследования. Тем более что износостойкость объемных материалов оказалась в 7 раз ниже, чем у покрытий с тем же элементным составом, и даже на 15 % ниже по сравнению со сталью 12X18H10T без покрытия. На наш взгляд, можно было не включать эту часть в конечный вариант диссертации; и без этой части результатов вполне достаточно.

4. Для детонационного напыления использовались порошки уже готового аморфного сплава, полученного газовым распылением расплава. Как показано в диссертации, эти порошковые частицы размером до нескольких десятков микрон снова плавятся в процессе детонационного напыления и вторично аморфизируются при быстром остывании на подложке. Возникает вопрос: нельзя ли получать аморфные покрытия из смеси исходных порошков (или смеси порошков после механического сплавления), вводимой непосредственно в ствол установки для напыления, избежав тем самым повторение стадий плавления и аморфизации?

Сделанные замечания не снижают высокой оценки диссертационной работы.

Заключение

Представленная к защите диссертация Кучумовой Иванны Денисовны «Структура и свойства покрытий с аморфной фазой, полученных методом детонационного напыления порошковых сплавов системы Fe-Cr-Nb-B» имеет как научную, так и практическую ценность. Автореферат и публикации в научных изданиях подробно отражают содержание диссертационной работы. Выводы по диссертации являются достаточно полными, логичными и обоснованными. Текст диссертации написан корректным научно-техническим языком и подробно иллюстрирован графическим материалом.

Диссертационная работа Кучумовой И.Д. полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.п. 9-14) «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 года. Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.6.17 – «материаловедение» в части пунктов 1, 2, 11, 16. На основании вышеизложенного Кучумова И.Д. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Диссертационная работа заслушана и обсуждена на расширенном заседании лаборатории Динамики микрогетерогенных процессов с участием представителей лабораторий Пластического деформирования материалов, Ударно-волновых процессов, Горения дисперсных систем, Рентгеноструктурных исследований и Физического материаловедения Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук (ИСМАН) 16 ноября 2022 г., протокол № 14. По результатам обсуждения диссертация получила положительную оценку.


Председатель заседания лаборатории
Динамики микрогетерогенных процессов,
заведующий лабораторией
Динамики микрогетерогенных
процессов ИСМАН, д.ф.-м.н., профессор


Рогачев
Александр Сергеевич

Подпись Рогачева А.С. заверяю.
Ученый секретарь ИСМАН, к.т.н.

Петров
Евгений Владимирович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова
Российской академии наук (ИСМАН),
142432, Московская обл., г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д. 8.
Тел.: 8 (49652) 46-376, Факс: 8 (49652) 46-222, E-mail: isman@ism.ac.ru

Проставить в совет 25.11.2022  / Тюмин А.В.

Согласованоผู้อำนวยการ 28.11.2022
 Кучумова И.Д.