

ОТЗЫВ

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

В диссертации Кучумовой Иванны Денисовны проведены комплексные исследования структуры и свойств порошковых аморфных материалов на основе системы Fe-Cr-Nb-B и детонационных покрытий из них. Установлены закономерности влияния режимов напыления на структуру и функциональные свойства покрытий. Проведена апробация полученных результатов.

Хорошо известно, что аморфные сплавы обладают рядом преимуществ перед своими кристаллическими аналогами, такими как высокая прочность, износостойкость, высокая стойкость к коррозии, сопоставимая с лучшими нержавеющей стали. Однако их применение в промышленности, как конструкционных материалов, сильно ограничено их малыми габаритами и низкой пластичностью, являющейся причиной слабо контролируемого разрушения. Комплекс свойств аморфных сплавов делает их привлекательными для использования в качестве износостойких и коррозионностойких покрытий. Детонационное напыление один из видов газодинамического напыления, в процессе которого может происходить расплавление напыляемого порошка, что особенно актуально для аморфных сплавов, так как формирование аморфной фазы в данном случае возможно только при быстрой закалке из жидкости. Предложенный метод обеспечивает необходимые скорости охлаждения и широко применяется в промышленности для получения покрытий. Установление закономерностей структурообразования и функциональных свойств покрытий в зависимости от режимов детонационного напыления является несомненно актуальной задачей, решение которой позволит ускорить внедрение данного метода нанесения аморфных покрытий в промышленность.

Целью диссертационной работы Кучумовой И. Д. является исследование процессов структурообразования покрытий из порошков сплавов $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$ и $Fe_{62}Cr_{10}Nb_{12}B_{16}$ различных фракций при детонационном напылении и определение зарядов и состава газовой смеси, обеспечивающих формирование покрытий с высоким содержанием аморфной фазы и высокой стойкостью к коррозии и износу.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Впервые методом детонационного напыления были получены покрытия из сплавов системы Fe-Cr-Nb-B. Определены режимы детонационного напыления, позволяющие формировать низкопористые (1...3 %) покрытия с содержанием аморфной фазы 95...99 масс. % из порошков сплава $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$, изначально содержащих 5...31 масс. % кристаллической фазы. Показано, что метод детонационного напыления позволяет формировать покрытия с высоким содержанием аморфной фазы (86...94 масс. %) из порошка сплава $Fe_{62}Cr_{10}Nb_{12}B_{16}$, имеющего кристаллическую структуру до напыления (не содержащего аморфной фазы).

2. Покрытия $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$ с аморфной структурой, полученные при варьировании объема ацетиленокислородной взрывчатой смеси эквимольного состава в диапазоне 50...70 %, имеют коррозионную стойкость, близкую к нержавеющей стали в условиях электрохимической и атмосферной коррозии. Коррозии подвержены границы зерен кристаллитов, сохранившихся на поверхности частиц, не претерпевших плавление в процессе напыления, и межсплетовые границы.

3. Результаты исследования триботехнических свойств покрытий $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$ и $Fe_{62}Cr_{10}Nb_{12}B_{16}$, содержащих аморфную фазу, в условиях сухого трения с возвратно-поступательным движением показали, что износостойкость покрытий в 4...5 раз превышает износостойкость стали 12X18H10T (образец-свидетель). Износостойкость покрытий $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$ в условиях трения о нежестко закрепленные частицы на 30 % выше, чем у образца-свидетеля.

4. Проведено сравнение механических характеристик покрытий и объемных материалов из сплава $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$ с одинаковым уровнем пористости (< 1 %). Показано, что при более высокой микротвердости спеченного образца (1260 HV_{0,1}) его стойкость к изнашиванию в условиях сухого трения с возвратно-поступательным движением в 5 раз ниже, чем у покрытий, и находится на уровне нержавеющей стали.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Результаты исследования структурных и фазовых превращений при детонационном напылении порошков Fe-Cr-Nb-B расширяют знания о процессах фазо- и структурообразования покрытий, содержащих аморфную фазу, в процессе детонационного напыления порошков сплавов на основе железа с различной стеклообразующей способностью.

2. Экспериментально установлены технологические параметры детонационного напыления порошков сплавов Fe-Cr-Nb-B, обеспечивающие фор-

мирование покрытий с высоким содержанием аморфной фазы, низкой пористостью и высокой прочностью сцепления с подложкой из сталей Ст3. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологических процессов формирования защитных покрытий на поверхности изделий из углеродистых и легированных сталей.

3. На основании результатов проведенных исследований разработаны покрытия $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{V}_{19}$ и $\text{Fe}_{62}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_{12}\text{V}_{16}$, износостойкость которых в условиях абразивного изнашивания и сухого трения с возвратно-поступательным движением на 30% и в 4...5 раз выше, чем у стали 12X18H10T, соответственно. Разработанные покрытия рационально использовать для защиты стальных изделий ответственного назначения, подверженных воздействию абразивного изнашивания и сухого трения при незначительных ударных нагрузках. Вследствие близких показателей коррозионной стойкости покрытий $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{V}_{19}$ и стали 12X18H10T в условиях электрохимической и атмосферной коррозии, покрытия $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{V}_{19}$ целесообразно использовать для нанесения на детали из углеродистой стали для замены деталей из стали 12X18H10T, которая имеет низкую стойкость к абразивному изнашиванию и сухому трению.

4. Предложенные технологические решения по формированию покрытий с аморфной фазой из сплавов на основе железа на стальных подложках переданы для использования в ООО «Сибирские Технологии Защитных Покрытий» и ООО «НПО Спецпокрытие». Результаты проведенных исследований используются при реализации учебного процесса в Новосибирском государственном техническом университете при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Материаловедение и технологии новых материалов» и «Наноинженерия»

Обоснованность и достоверность научных результатов положений, выводов обеспечена постановкой актуальных задач исследования, использованием целого комплекса взаимодополняющих методов исследования, использованием современной приборной аналитической базы, тщательной статистической обработкой экспериментальных результатов, сравнением полученных результатов с данными других авторов. Полученные результаты проанализированы на основе современных представлений физики металлов, и представлены непротиворечивые объяснения полученных результатов.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и трех приложений. Текст работы изложен на 201 странице, включая 68 рисунков, 22 таблицы и библиографический список, состоящий из 258 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна и теоретическая и практическая значимость, приведены защищаемые положения.

Первая глава посвящена обзору литературы, в котором дается критический анализ опубликованных данных по теме диссертации. Обзор является весьма полным и хорошо отражает современную ситуацию с состоянием изучаемой проблемы. Следует отметить, что большая часть рассмотренных статей является зарубежными, где шире, чем в нашей стране ведутся работы по получению и изучению кристаллизации и процессов деформации объемных металлических стекол. Несомненно, литературный обзор в этой диссертации представляет самостоятельную ценность.

Во второй главе отражены объекты и методы их исследования, следует, что автор экспериментально исследовал порошки и покрытия из двух аморфных сплавов на основе железа, в том числе с добавкой керамических частиц. При этом были использованы все основные прямые методы анализа структуры и физических и механических свойств. Важно отметить, что эксперименты проводились с использованием самого современного оборудования. Все это создало основу для получения достоверных и воспроизводимых результатов, обеспечивающих надежность сделанных в работе выводов.

Третья глава посвящена исследованию структуры и фазового состава исходных порошков и покрытий, полученных методом детонационного напыления. В главе проведены расчеты для обоснования выбора режимов напыления, представлено их экспериментальное подтверждение. Установлены предпочтительные режимы напыления, способствующие получению низкопористых покрытий, содержащих высокую долю аморфной фазы. Показаны структурные особенности покрытий полученных предложенным методом. Определены особенности нанесения композиционных покрытий, содержащих керамические частицы оксида алюминия.

В четвертой главе представлены результаты измерений коррозионных и трибологических свойств полученных покрытий. Проведено большое количество испытаний с применением различных методик. Проведено сопоставление полученных результатов с имеющимися промышленными материалами. Установлены наилучшие режимы нанесения покрытий для обеспечения высокого комплекса функциональных свойств. Определены зависимости свойств покрытий от полученной структуры при детонационном напылении.

В пятой главе сделаны предложения по промышленному использованию разработанных покрытий. Предложены технологические режимы напыления покрытий из аморфного сплава $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$. Показано, что получен-

ные в работе результате нашли применение как в промышленности, так и в образовательном процессе.

В заключении представлены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Отдельно стоит отметить грамотный выбор системы легирования, обеспечивающий сочетание высоких коррозионных свойств за счет высокого содержания хрома, высокой стеклообразующей способности связанной с высоким содержанием бора, при отсутствии редкоземельных металлов, которые хоть и повышают стеклообразующую способность сплава, но приводят к сильнейшему охрупчиванию материала и снижению коррозионной стойкости. В данном случае увеличение стеклообразующей способности достигается введением в состав сплава ниобия.

Замечания по диссертационной работе:

1. Исследование структуры сплавов проводилось с использованием, в том числе, методов рентгеновской дифракции. Использование медного излучения не желательно применительно к сплавам на основе железа из-за вторичной флуоресценции и повышенного фона рентгеновского излучения. Предпочтительнее использовать для таких образцов кобальтовое излучение. Или использовать технические приспособления для уменьшения эффекта флуоресценции, однако их использование в диссертационной работе не указано.

2. В работе проведена оценка доли кристаллической составляющей в порошках и покрытиях на основе полученных дифрактограмм с использованием программного обеспечения Topas, использующего частичный метод Ритвельда. Не ясно какие параметры аморфной фазы были заложены в расчеты. Особенно важно учитывать, что в сплавах такого типа при частичной кристаллизации, бор, легкий элемент, полностью сосредоточен в аморфной матрице. Таким образом, коэффициенты ослабления рентгеновского излучения фаз будут сильно различаться. Для верификации объемной доли кристаллической фазы в покрытиях, возможно, стоит провести независимый дополнительный эксперимент с использованием сканирующей или просвечивающей электронной микроскопии.

3. На странице 82 приведено описание выбора предпочтительного режима напыления при соотношении $O_2/C_2H_2=1$, однако как отражено на рисунке 3.6 данный режим не обеспечивает плавления частиц порошка, что находится в противоречии с тезисом о необходимости плавления порошка при напылении для формирования качественных безпористых покрытий. Не ясно какое соотношение компонентов смеси является оптимальным?

4. В диссертации проводится сравнение свойств полученных покрытий с нержавеющей сталью марки 12X18H10T. Данная сталь может быть использована в двух состояниях – закаленном и нагартованном, что оказывает сильное влияние на ее свойства. Из текста диссертации не ясно с каким состоянием производится сравнение.

Указанные замечания не снижают общий высокий уровень диссертационной работы и ее практическую ценность.

Заключение

Диссертационная работа «Структура и свойства покрытий с аморфной фазой, полученных методом детонационного напыления порошковых сплавов системы Fe-Cr-Nb-B» Кучумовой Иванны Денисовны выполнена на высоком научном уровне и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержатся решения задач, направленных на разработку функциональных покрытий и имеющих значение для развития машиностроения. Представленные в диссертационной работе результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Текст автореферата в полной мере соответствует основному содержанию.

На основании вышеизложенного представленная к защите диссертационная работа Кучумовой И. Д. соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата наук по специальности 2.6.17. – Материаловедение.

Официальный оппонент,
Старший преподаватель
Кафедры металловедения цветных
металлов
«Национального исследовательского
технологического университета
«МИСИС», к.т.н.

Базлов Андрей Игоревич

2.12.2022

Контактная информация:
119049, Россия, Московская обл.,
г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1.
Тел.: +7 (495) 955-00-32
e-mail: bazlovmsis@gmail.com

*Поступил в совет
06.12.2022*

Тюрин В.Г.

С. 07.12.2022

2.12.2022 Кучумова И.Д. Кучумов