



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный
технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

ул. Молодогвардейская, 244,
гл. корпус, г. Самара, 443100
Тел.: (846) 278-43-11, факс (846) 278-44-00
E-mail: rector@samgtu.ru
ОКПО 02068396, ОГРН 1026301167683,
ИНН 6315800040, КПП 631601001

«УТВЕРЖДАЮ»
Первый проректор –
проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «СамГТУ»,
доктор технических наук, профессор

_____ Ненашев
Максим Владимирович
«_____» _____ 2025 г.

_____ № _____

На № _____ от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Логинова Павла Александровича
«Создание комплексно-модифицированных многокомпонентных металлических связок для алмазного режущего инструмента с повышенными эксплуатационными характеристиками», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы

Актуальность темы исследования

Алмазный режущий инструмент чрезвычайно востребован в строительной и горнодобывающей промышленности Российской Федерации при строительстве и демонтаже гражданских и промышленных сооружений, реновации дорожных полотен и взлетно-посадочных полос, добыче полезных ископаемых. Одним из основных компонентов алмазного инструмента является металлическая связка, обеспечивающая удерживание сверхтвердого компонента в рабочем слое и оптимальный уровень износостойкости для поддержания работы инструмента в режиме самозатачивания. Актуальность работы связана с необходимостью как разработки связок из отечественного сырья взамен ушедших с российского рынка продуктов иностранных компаний, так и с созданием новых типов связок, которые позволят расширить номенклатуру обрабатываемых материалов.

Создание и усовершенствование существующих связок осуществляется по нескольким направлениям: оптимизация твердости и износостойкости в зависимости от условий обработки и свойств обрабатываемого материала, повышения прочности сцепления с алмазом, разработка новых инженерных решений в конструкции сегментов инструмента. Реализация данных подходов осуществляется в диссертационной работе с применением методов порошковой металлургии, которые позволяют получать связки с различными типами структуры от крупнозернистых до иерархических и нанокристаллических, использовать наномодификаторы для упрочнения и эффективного закрепления алмаза, проводить легирование карбидообразующими элементами, использовать функциональные частицы, не растворимые в матрице и обеспечивающие требуемый уровень износостойкости.

Одним из основных подходов, использованных в работе, является высокотехнологическая механическая обработка порошковых смесей в планетарных

центробежных мельницах. Данный подход позволяет получать многокомпонентные порошковые смеси за счет протекания процессов механического сплавления и таким образом решить проблемы, связанные с неоднородностью распределения элементов, особенно при их ограниченной взаимной растворимости и при использовании порошков разного фракционного состава.

Большую актуальность имеют исследования, проведенные методами *in situ* просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Данное направление подразумевает целый комплекс подходов, которые позволяют ответить на большое количество проблемных вопросов в области механического и термического поведения алмазосодержащих композитов. В частности, *in situ* ПЭМ исследования позволили получить количественные данные о прочности сцепления связки с алмазным монокристаллом, выявить вклад в данную характеристику от различных компонентов связки.

В связи с изложенным не вызывает сомнения актуальность рассматриваемой диссертационной работы, посвященной созданию комплексно-модифицированных многокомпонентных металлических связок для алмазного режущего инструмента с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Структура и основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 275 наименований и 7 приложений. Материалы изложены на 305 страницах, содержат 157 рисунков и 57 таблиц.

Во введении содержится обоснование актуальности темы диссертации, сформулирована цель и задачи исследования, изложена научная новизна и практическая значимость результатов работы, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен аналитический обзор научной литературы, посвященной разработке новых составов металлических связок для алмазного инструмента различного назначения, основным технологиям изготовления и направлениям усовершенствования их эксплуатационных характеристик. Изложены современные тенденции в разработке металлических связок, принципы выбора материалов и составов, описаны главные функции, выполняемые связками, а также ключевые требования, предъявляемые к ним. Представлена эволюция составов связок для алмазного режущего инструмента. Приведены наиболее распространенные системы легирования для связок на основе железа и меди. Обсуждаются современные методы и технологии производства алмазного инструмента с металлическими связками, прежде всего основанные на процессах порошковой металлургии. Также в главе рассмотрены известные методы усовершенствования алмазного инструмента, основанные на модифицировании состава и структуры связки или повышении ее прочности сцепления с алмазным монокристаллом. Рассмотрены различные методы повышения прочности сцепления связки с алмазом и существующие методы качественной оценки и количественного измерения данной характеристики. Показаны области применения алмазного инструмента, режимы обработки материалов и обоснован выбор составов связок в зависимости от характеристик обрабатываемого материала.

Вторая глава посвящена описанию исходных компонентов, методик, приборов и оборудования, применяемых в данном исследовании. Описаны свойства и химический состав использованных металлических порошков Fe, Ni, Cu, Co, Cr, Mo, Ti, TiH₂, использованных в качестве основы связок и наноразмерных порошков (WC, ZrO₂, Al₂O₃, *h*-BN, K₂O·*n*(TiO₂), углеродные нанотрубки), обеспечивающих дисперсное упрочнение матриц. Описаны методики и оборудование для определения физических, химических, механических и технологических свойств. Представлены методы исследования структуры и фазового состава материалов. Описаны установки для проведения испытаний алмазного инструмента и методики определения его эксплуатационных характеристик.

Третья глава посвящена описанию разработанной методики количественного определения прочности сцепления металлической связки с алмазным монокристаллом, приведены результаты испытаний образцов с различными составами связок и показано влияние покрытия на алмазе. Данная новая методика измерения прочности сцепления алмаза со связкой основана на использовании ПЭМ и специального держателя, предназначенного для проведения *in situ* механических испытаний. В качестве образцов для испытаний использованы ламели со структурой «металл-алмаз», имеющие форму аналогичную стандартным образцам для испытаний на растяжение и границу раздела, перпендикулярную направлению приложения нагрузки. Подробно описана методика изготовления образцов с помощью электронно-ионного микроскопа и их закрепления на устройствах, предназначенных для проведения испытаний. Для расчета прочности при растяжении, которая при такой конфигурации образца равна прочности сцепления связки с алмазом, использованы два метода. Первый основан на прямом измерении толщины и площади поперечного сечения ламели в сканирующем электронном микроскопе. Второй основан на расчете толщины ламели при анализе дифракции электронов на сходящемся пучке. Показаны преимущества второго метода – высокая локальность (от 2 до 25 нм) и возможность получения данных о толщине непосредственно у границы раздела «металл-алмаз».

Разработанный метод был применен для определения прочности сцепления связки на основе железа состава 75% Fe – 15 % Co – 10 % Ni с алмазным монокристаллом. По результатам испытаний трех образцов установлено, что значение прочности сцепления связки с алмазом находится в диапазоне 50-110 МПа. В последующих экспериментах проведено исследование прочности сцепления связок с алмазным монокристаллом при наличии на них покрытия WC. По результатам испытаний на растяжение ламели со структурой «связка – пленка WC – алмаз» было определено значение прочности, равное 207 МПа. При этом показано, что магистральная трещина при разрушении прошла не по границе раздела «алмаз-пленка WC», а сквозь зерна металлической связки Fe-Co-Ni с растворенными в ней атомами W и C, то есть разрушение произошло по когезионному механизму. Определена прочность сцепления различных высокоэнтропийных сплавов с алмазом и определен вклад отдельных компонентов (медь, титан) в данную характеристику. По результатам испытаний было установлено, что при растяжении ламелей CoCrFeNi-алмаз и CoCrFeNiTi-алмаз магистральная трещина проходит по слою графитоподобного углерода, сформировавшегося при спекании в результате воздействия металлов-катализаторов перехода алмаза в графит. Разрушение ламели CoCrCuFeNi-алмаз сопровождается существенной пластической деформацией, что обусловлено наличием на границе раздела зерен фазы на основе меди. Локальная прочность границ раздела алмаз-матрица, измеренная методом *in situ* в колонне ПЭМ, составляет 468, 458, 406 МПа для CoCrFeNi, CoCrCuFeNi, CoCrFeNiTi соответственно.

В четвертой главе представлены результаты исследований, направленных на разработку дисперсно-упрочненных связок алмазного инструмента, предназначенного для резки стали и чугуна. Опробованы два подхода, позволяющие повысить служебные характеристики алмазного инструмента при резке данных материалов: оптимизация прочности и износостойкости связок для работы инструмента в режиме самозатачивания, а также частичная замена алмаза в рабочем слое на другой вид сверхтвёрдого материала, химически инертный по отношению к металлам триады железа – кубический нитрид бора.

В качестве основы использована связка марки Next100 состава 50% Cu – 26% Co – 24 % Fe (масс. %). Ее дополнительно легировали пластичным компонентом никелем и вводили наночастицы тугоплавких соединений. В совокупности указанные способы модифицирования связок позволяют уменьшить износостойкость для адаптации связки к обработке малоабразивных материалов и одновременно с этим повысить прочность, что обеспечит более высокую прочность алмазоудержания при работе инструмента. Представлены зависимости пористости, твердости, предела прочности при изгибе и ударной вязкости от содержания

никеля в связке. Выбрана оптимальная концентрация никеля, равная 30 %. Показано влияние наночастиц WC, ZrO₂ и h-BN на механические свойства связок и определены их оптимальные концентрации.

Оптимизация соотношения алмаза и cBN в инструменте проводилась при испытаниях перлин канатных пил в процессе обработки резанием стали. Были изготовлены перлины с различным соотношением СТМ (алмаз – cBN, масс. %): 100% алмазов, 75 % – 25 %, 50 % – 50 %, 25 % - 75 %. Установлено, что зависимость производительности резки и удельного ресурса от доли cBN среди СТМ в инструменте имеет экстремальный характер. Максимальные эксплуатационные характеристики получены при соотношении алмазов и cBN – 75 / 25. Выявлены причины повышения производительности при замене алмазов на cBN. Во-первых, это связано с более прочным механическим зацеплением зерен со связкой из-за развитой поверхности cBN. Во-вторых, повышение производительности объясняется хорошей адгезией связки к зернам cBN, что подтверждается наличием тонких слоев связки на зернах СТМ на изломе сегментов. Благодаря этому зерна cBN меньше, чем алмаз, подвержены выпадению из рабочего слоя инструмента. В-третьих, как показано на снимках поверхности сегментов после испытаний, зерна cBN разрушаются с образованием новых острых граней, продолжавшие осуществлять процессы резания.

Из разработанных связок, в том числе модифицированных наночастицами, были изготовлены экспериментальные образцы канатных пил и алмазных отрезных сегментных кругов с оптимизированным соотношением алмаза и cBN и проведены их испытания. По результатам испытаний установлено, что инструменты с разработанными связками превосходят зарубежные аналоги (канатные пилы Cedima, диски Boomrad аналогичного назначения) по скорости резания и ресурсу работы.

Пятая глава посвящена исследованиям по разработке комплексно модифицированных адгезионно-активных связок алмазного инструмента, предназначенного для резки железобетона с использованием охлаждающей жидкости. В качестве основы были выбраны сплавы на основе железа в системе Fe-Ni-Mo и Fe-Co-Ni. Основной задачей при разработке связок в этой части работы было обеспечение высоких механических свойств и износостойкости.

В системе Fe-Ni-Mo оптимизировано содержание молибдена в сплаве, обеспечивающее сочетание высокой прочности и износостойкости. Рассмотрено влияние различных наномодификаторов (WC, ZrO₂, Al₂O₃, h-BN, K₂O·nTiO₂, углеродных нанотрубок) на механические свойства связок Fe-Ni-Mo. Определены оптимальные концентрации наномодификаторов, обеспечивающие повышение прочности на 10 % и износостойкости в 3 раза. Показан эффект от комплексного наномодифицирования – одновременного использования наночастиц, добавка которых приводит к реализации различных механизмов упрочнения. Проведены сравнительные испытания по сверлению железобетона кольцевыми алмазными сверлами со связками на основе сплава Fe-Ni-Mo, в том числе с комплексным наномодифицированием. Установлено, что наличие наночастиц в связке позволяет уменьшить износ инструмента в 3,5 раза при поддержании работы в режиме самозатачивания. Наличие наночастиц WC положительно влияет на адгезию связки к алмазу благодаря формированию на алмазе покрытия на основе WC.

На примере системы Fe-Co-Ni показано, что проведение предварительной обработки порошковой смеси в планетарных мельницах и формирование однофазной структуры на основе твердого раствора с ОЦК кристаллической решеткой и однородным распределением компонентов позволяет повысить твердость сплава на 20 % (до 108 HRB) и предел прочности при изгибе на 55 % (до 2000 МПа). Установлено влияние комплексного наномодифицирования и легирующих добавок титана и хрома на механические свойства связок Fe-Co-Ni. Добавка наночастиц WC, h-BN и углеродных нанотрубок позволила повысить прочность связки на 10 % и износостойкость в 2 раза. Легирование связки титаном и хромом продемонстрировало более

высокую эффективность для повышения механических свойств и износостойкости. Введение в связку титана и хрома обеспечило повышение предела прочности при изгибе до 2900-3200 МПа и износостойкости на порядок. Данные добавки оказывали положительное влияние на адгезию связки к алмазу, так как способствовали образованию промежуточных слоев на основе карбидов TiC и Cr_3C_2 на границе раздела с алмазом даже при легировании связки малыми концентрациями (3 и 7 % соответственно). Проведены сравнительные испытания по резке железобетона с использованием отрезных сегментных кругов со связками на основе сплава Fe-Co-Ni, в том числе модифицированными наночастицами и адгезионно-активным компонентом. Инструмент со связкой, модифицированной наночастицами WC, h-BN и углеродными нанотрубками продемонстрировали наиболее стабильный износ и высокую скорость резания в процессе испытаний.

В шестой главе представлены результаты исследований по разработке композиционных связок алмазного инструмента, предназначенного для сухого сверления железобетона. Сложность создания инструмента для данного применения заключается в том, что алмазные сегменты при «сухом» контакте со стальной арматурой теряют режущую способность из-за деградации алмазов в зоне контакта. Это, прежде всего, объясняется заполировыванием рабочего слоя инструмента из-за отсутствия абразивного шлама. Для решения указанных проблем разработаны новые связки для алмазного инструмента, в которых скорость износа увеличивается за счет введения порообразующих добавок – графитовых гранул и полых корундовых микросфер (ПКМ).

По результатам исследований установлено влияние порообразующих добавок на механические свойства и износостойкость связок Fe-Ni-Cu для алмазного инструмента. Показано, что введение данных добавок в количестве, не превышающем 10 %, почти не оказывает влияние на механические свойства связок, однако в 4 раза повышает износ при трении о бетон. Эффективность подхода, заключающегося в модифицировании связок порообразующими добавками подтверждена результатами стендовых испытаний кольцевых алмазных сверл. При отсутствии охлаждающей жидкости инструмент с базовой связкой работал с низкой производительностью из-за заполировывания рабочего слоя. Добавки ПКМ и графитовых гранул провоцировали повышенный износ инструмента, благодаря чему было возможно появление новых алмазов на поверхности рабочего слоя, и была обеспечена работа инструмента с постоянной скоростью сверления.

Также разработаны связки на основе высокоэнтропийных сплавов $CoCrCu_xFeNi$. Исследовано влияние меди на фазовый состав, структуру, механические свойства и механизмы деформации ВЭС $CoCrCu_xFeNi$, заключающиеся в формировании двухфазной структуры на основе твердых растворов с ГЦК кристаллической решеткой при концентрации меди выше 9 ат. %; подавлении рекристаллизационных процессов, приводящих к снижению среднего размера зерна с 1,07 мкм до 0,07 мкм. По результатам *in situ* ПЭМ механических испытаний ламелей из сплавов $CoCrCu_xFeNi$ установлено, что с ростом концентрации меди уменьшается склонность к деформации двойникованием. Деформация высокоэнтропийных сплавов $CoCrCu_xFeNi$ преимущественно локализована в фазе твердого раствора на основе меди.

В заключении представлены выводы по полученным результатам работы. Результаты проведенных экспериментальных исследований показывают, что дисперсно-упрочненные связки на основе Cu-Fe-Co-Ni могут быть успешно применены в алмазном инструменте, предназначенном для резки стали и чугуна. Связки Fe-Ni-Mo и Fe-Co-Ni с комплексным наномодифицированием, мелкозернистой структурой и добавками карбидообразующих элементов обеспечивают высокие служебные характеристики инструмента при резке железобетона в присутствии охлаждающих жидкостей. Введение в связку Fe-Ni-Cu порообразующих добавок позволяет адаптировать инструмент к условиям «сухой» резки,

избежать заполировывания рабочего слоя вследствие недостаточно интенсивного износа связки и обеспечить стабильный уровень эксплуатационных характеристик инструмента.

В приложении 1 к диссертации содержатся документы, подтверждающие практическую реализацию полученных результатов: технологические инструкции на производство алмазных сегментов, акты производственных испытаний, акты внедрения.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений Логинова П.А. подтверждается большим объемом экспериментальных данных, применением современного аналитического оборудования, использованием аттестованных методов и методик. Экспериментальные данные согласуются с теоретическими данными и не противоречат исследованиям других авторов.

Научная новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна диссертационной работы состоит в том, что впервые по результатам исследований, проведенных методом *in situ* просвечивающей электронной микроскопии установлено влияние состава связки алмазного инструмента на прочность сцепления с алмазным монокристаллом. Показано, что связки на основе железа характеризуются прочностью сцепления с алмазом в интервале значений $\sigma = 50-110$ МПа (при наличии покрытия WC на алмазе $\sigma = 200$ МПа), а высокоэнтропийные связки, содержащие хром и титан, обеспечивают прочность сцепления $\sigma = 460$ МПа. Определено оптимальное соотношение алмаза и кубического нитрида бора, равное 3:1, в рабочем слое инструмента, предназначенного для обработки чугуна, при котором достигается прирост скорости резания на 15 %. При данном соотношении повышается сохранность зерен сверхтвердого материала в рабочем слое при более интенсивном износе обрабатываемого материала, благодаря удерживанию cBN в связке и образованию большого количества острых граней при разрушении. Установлено влияние высокоэнергетической механической обработки порошковых смесей Fe-Co-Ni, Fe-Co-Ni-Cr, Fe-Co-Ni-Ti, Fe-Ni-Mo, Co-Cr-Fe-Ni и Co-Cr-Cu-Fe-Ni на механические свойства и износостойкость связок, заключающееся в формировании ультрамелкозернистой структуры сложнолегированных твердых растворов с выделениями упрочняющих вторичных фаз. Установлен положительный эффект легирования связок Fe-Co-Ni титаном и хромом, заключающийся в росте предела прочности при изгибе с 1980 МПа до 2920 МПа и 3220 МПа, соответственно, и образованием на поверхности алмазных зерен промежуточных карбидных слоев на основе TiC и Cr₃C₂. Показан оптимальный способ введения титана в порошковую смесь – в составе гидрида титана. Показано влияние комплексного модифицирования сплавов Fe-Co-Ni и Fe-Ni-Mo различными видами нанодисперсных добавок (углеродные нанотрубки, наночастицы гексагонального нитрида бора и карбида вольфрама) на структуру и свойства, заключающееся в уменьшении размера зерен структурных составляющих и дисперсном упрочнении по механизму Орована. Установлено влияние меди на структуру и свойства высокоэнтропийных сплавов CoCrCuFeNi, заключающееся в формировании двухфазной структуры и подавлении рекристаллизационных процессов, благодаря чему становится возможным уменьшение среднего размера зерна в сплавах с 1,07 до 0,07 мкм. Установлена возможность снижения износостойкости связок алмазного инструмента при эксплуатации в отсутствии охлаждающих жидкостей за счет добавления порообразующих добавок – графита или полых корундовых микросфер. Данный эффект обеспечивает работу инструмента в режиме самозатачивания и повышение скорости сверления на 50-120 %.

Практическая значимость полученных автором результатов диссертационной работы

Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждается разработанной методикой количественного измерения прочности сцепления металлических матриц с алмазным монокристаллом на основе *in situ* испытаний образцов со структурой «металл-алмаз» в просвечивающем электронном микроскопе. Композиционные материалы с сочетанием алмаза и кубического нитрида бора успешно применены в производстве алмазного инструмента, предназначенного для резки массивных конструкций из чугуна. Разработаны технологические инструкции на процесс производства сегментов с комплексно модифицированными связками Fe-Ni-Mo и Fe-Co-Ni для алмазных отрезных сегментных кругов и алмазных сверл, используемых для резания и сверления бетона и железобетона в присутствии охлаждающей жидкости, а также со связками из высокоэнтропийного сплава CoCrCuFeNi, модифицированного полыми корундовыми микросферами, для алмазного инструмента, используемого при сверлении армированного бетона без подачи охлаждающей жидкости в режиме воздушного охлаждения. По результатам испытаний установлено, что комплексное наномодифицирование и введение полых корундовых микросфер обеспечивает работу инструмента в режиме самозатачивания и высокий уровень производительности и ресурса. Результаты диссертационной работы прошли апробацию и внедрены в технологический процесс производства алмазного инструмента в ООО «ТД Кермет». Проведена замена импортных порошковых связок из предсплавов Next100, Keen20 (Umicore, Франция) на многокомпонентные наномодифицированные связки из порошков отечественного производства. Высокоэнтропийные связки CoCrCuFeNi с добавками графита и полых корундовых микросфер применены в инструменте, предназначенном для обработки высокоармированного железобетона без охлаждающей жидкости. Технологический процесс производства в ООО «ТД Кермет» дополнен операцией высокоэнергетической механической обработки порошковой шихты в планетарной центробежной мельнице для повышения ее технологических свойств и расширения номенклатуры используемых порошков и составов сплавов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты и выводы диссертации могут быть использованы на различных предприятиях, специализирующихся на производстве алмазного инструмента, предназначенного для обработки бетона, железобетона и природного камня. В частности, они могут быть рекомендованы для расширения номенклатуры режущего и шлифовального инструмента компании ООО «АлмазСервис» (Самарская область, г. Тольятти). Новые составы связок и композиции сверхтвердых материалов представляют интерес для других крупных отечественных производителей алмазного инструмента, таких как ООО "Суперабразив" (Свердловская область, г. Ревда), ООО «Адель Инструмент» (г. Москва, г. Зеленоград). Разработанная методика количественного измерения прочности сцепления металлических матриц с алмазным монокристаллом, основанная на *in situ* испытаниях в колонне ПЭМ, может быть использована для оценки адгезии покрытий на плакированных порошках технических алмазов в компании ООО "Кит-Строй СПб" (г. Санкт-Петербург).

Кроме того, результаты диссертации могут быть использованы в вузах при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Металлургия» и «Материаловедение и технологии материалов».

Публикации и апробация основных положений работы

Основные результаты диссертации достаточно полно изложены в 30 научных публикациях, в том числе 8 статей в изданиях, входящих в перечень рецензируемых журналов ВАК для защиты диссертаций по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы; 22 статьи опубликованы в журналах, входящих в международную базу данных Scopus. Основные положения работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 22 международных конференциях.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертационным работам

Выполнены все требования, предъявляемые к диссертационным работам. Проведен подробный литературный анализ, правильно определены цели и задачи исследования. Экспериментальные результаты представлены четко, как в виде графиков и фотографий структур, так и текста, их описывающего. Работа написана ясным языком, хорошо иллюстрирована. Диссертация и автореферат содержат необходимые разделы и соответствуют друг другу. Материалы диссертации опубликованы в достаточной степени. Самостоятельный вклад автора в работу весом и очевиден.

Соответствие диссертации научной специальности

Диссертационная работа П.А. Логинова соответствует паспорту научной специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы (отрасль науки – технические) по направлениям исследований:

2. Исследование и моделирование физико-химических процессов получения полуфабрикатов и изделий из порошковых, композиционных материалов с металлической, углеродной, керамической матрицей и армирующими компонентами различной неорганической природы, разработка оборудования и технологий.

5. Изучение структуры и свойств порошковых, композиционных материалов, покрытий и модифицированных слоев на полуфабрикатах и изделиях, исследование процессов направленной кристаллизации изделий из порошковых и композиционных материалов, разработка технологий и оборудования.

6. Разработка и совершенствование технологических процессов производства, контроля и сертификации полуфабрикатов и изделий различного назначения из порошковых и композиционных материалов, а также материалов и изделий с покрытиями и модифицированными слоями.

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. По тексту не везде используется единицы СИ для обозначения давления, например, в давлении 2 т/см^2 или усилия 4 кг/см^2 .
2. В третьей главе диссертации не указано, в какой момент проводили оценку толщины ламелей методом, основанном на дифракции электронов на сходящемся пучке. Если после испытаний, учитывали ли деформацию материала?
3. В четвертой главе недостаточно обоснования использования алмазного инструмента для резки стали и чугунов. Обычно для таких применений используются другие типы инструментов.
4. Для получения порошковых связок в работе использованы планетарные центробежные мельницы различных типов и другие виды смесителей. Не указано, чем обусловлен их выбор.
5. В шестой главе сделан вывод о том, что присутствие в связке Fe-Ni-Cu полых корундовых микросфер не приводит к заметному разупрочнению областей, прилегающих к границе раздела фаз. Данный вывод сделан на основании измерений твердости областей связки около микросфер, однако прочность далеко не всегда коррелирует с твердостью.

Заключение

Однако отмеченные недостатки не снижают теоретической и практической значимости исследований, выполненных на высоком научном уровне, а полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным целям. Положения, выносимые на защиту, экспериментально доказаны.

Рассматриваемая диссертация П.А. Логинова является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема по созданию комплексно-модифицированных многокомпонентных металлических связок для алмазного режущего инструмента с повышенными эксплуатационными характеристиками, имеющая важное хозяйственное значение. Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете МИСИС», а ее автор, Логинов Павел Александрович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Отзыв составлен и принят на основании анализа диссертации, автореферата и публикаций Логинова П.А. на заседании кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» (протокол № 6 от 02 апреля 2025 г.).

Авторы отзыва дают согласие на обработку своих персональных данных.

Заведующий кафедрой «Материаловедение,
порошковая металлургия, наноматериалы»,
профессор, доктор физико-математических наук
(01.04.17. Химическая физика, в том числе физика
горения и взрыва)
Телефон: (846)242-28-89. E-mail:
egundor@yandex.ru

 Амосов
Александр Петрович

Ученый секретарь кафедры «Материаловедение,
порошковая металлургия, наноматериалы»,
доцент, кандидат технических наук
(05.16.01. Металловедение и термическая обработка
металлов и сплавов)
Телефон: (846)242-28-89. E-mail: t.pugacheva@yandex.ru

Пугачева
Татьяна Михайловна

«Подписи рецензентов заверяю»
Ученый секретарь ФГБОУ ВО «СамГТУ»,
доктор технических наук

 Малиновская
Юлия Александровна

« 14 » апреля 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ»).

443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, главный корпус.

Тел.: 8 (846) 278-43-11, Факс: (846) 278-44-00, E-mail: rector@samgru.ru, официальный сайт:
<https://samgtu.ru/>