

Отзыв официального оппонента

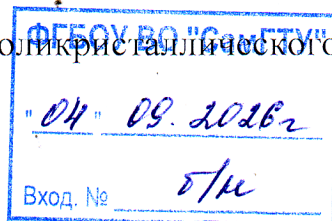
на диссертационную работу Колибасова Владимира Александровича «Закономерности и критерии оценки поверхностного разрушения алмазных резцов буровых долот и средства для их сертификационных испытаний», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение

1. Актуальность

Поликристаллические алмазные резцы (*PDC*) – режущие элементы, активно использующиеся для бурового породоразрушающего инструмента различного назначения. *PDC* армируют коронки, долота, расширители. На сегодняшний день инструмент типа *PDC* занимает устойчивые позиции на рынке бурового инструмента. При этом именно данный вид является не просто наиболее востребованным и надежным при сооружении скважин, но и перспективным для разработки конструкций долот нового поколения. При этом именно качество и стойкость резцов напрямую влияет на технико-экономические показатели бурения.

Развитие сырьевой базы России в условиях импортозамещения и санкционных ограничений требует создания собственной научно-технической базы для производства высокотехнологичного инструмента, оборудования. Стабильное производство отечественных *PDC*-резцов требует наличия научно-обоснованных методов и средств сертификационных испытаний. Существующие подходы к входному контролю качества режущих элементов трудоемки, длительны и плохо воспроизводимы. Более того, физическая природа разрушения поликристаллического алмаза при работе на забое остается неоднозначной. Принято считать, что разрушение бурового инструмента вызвано абразивным износом, что противоречит данным о соотношении твердостей контактирующих материалов. Хотелось бы отметить, что существующие опубликованные результаты научных исследований по изучению механизма разрушения поликристаллического

Сопровождающим документом 04.08.2026



алмазного материала устарели или имеют поверхностный характер, формируются исходя из анализа внешних повреждений, полученных в процессе бурения.

В связи с этим диссертационная работа Колибасова В.А., направленная на установление закономерностей разрушения резцов типа *PDC*, разработку критериев их предельного состояния и создание специального оборудования для ускорения сертификационных испытаний, является безусловно актуальной и имеет важное народно-хозяйственное значение.

2. Содержание работы

Диссертационная работа Колибасова В.А. написана по стандартной схеме, состоит из введения, пяти разделов (глав), заключения, списка цитируемой литературы и 4 приложений; изложена на 146 страницах, включает 61 рисунок, 14 таблиц и список литературы из 123 наименований, в том числе 12 публикаций диссертанта.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и пять задач исследования, приведены научная новизна, практическая значимость, положения, выносимые на защиту, сведения о степени достоверности, апробации и личном вкладе автора.

В первой главе выполнен аналитический обзор конструкций *PDC*-долот, условий их эксплуатации на забое и видов повреждений резцов. Проведен обзор существующих отечественных и зарубежных методов и оборудования для оценки стойкости резцов и твердосплавных зубков к изнашиванию (испытания резанием гранита на карусельных станках, стандартные схемы по DIN 50330, ГОСТ 23.207-79, ГОСТ 23.208-79, ASTM G65/G105 и др.). Показано, что натурные испытания с использованием природного камня страдают низкой воспроизводимостью из-за неоднородности горной породы и большой длительностью, а единых критериев ранжирования резцов по стойкости к поверхностному разрушению не существует. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе на основе фрактографического и рентгеноспектрального анализа изношенных и разрушенных участков PDC-резцов после эксплуатации на буровых долотах установлен физический механизм их поверхностного разрушения — контактная усталость, реализующаяся за счет зарождения, роста и слияния трещин по границам, а затем внутри алмазных зерен. Выделены шесть характерных субструктур разрушения (полосчатая, каменистая, ступенчатая, серповидная, ямочная, канавочная). Показано отсутствие следов классического абразивного (царапающего) износа на поверхности алмазного слоя, что ставит под сомнение общепринятое отнесение изнашивания PDC-пластин к абразивному механизму.

В третьей главе разработаны методы и специализированное оборудование для оценки твердости горных пород методом вдавливания и царапания их поликристаллической алмазной пластиной непосредственно в составе резца (индентор PDC), с построением 3D-модели резца для расчета площади контакта и ширины борозды царапания. На этой основе предложен материаловедческий критерий предельного состояния (работоспособности) алмазного долота (формулы 3.1–3.5), связывающий осевую нагрузку, твердость разбуриваемой породы и суммарную площадь износа режущих кромок резцов долота, и обоснован выбор алмазного инструмента (алмазного отрезного круга) в качестве контртела для лабораторных испытаний.

В четвертой главе разработаны схема, специализированное лабораторное оборудование (защищено патентами № 2821172 С1 и № 2821174 С1) и методика испытаний PDC-резцов на стойкость к поверхностному разрушению при трении о металл-алмазное контртелo (алмазный отрезной диск). Определены рациональные режимы испытаний (нормальная нагрузка ≈ 200 Н, частота вращения контртела 200 мин^{-1} , угол установки резца 15° , длительность 30 мин, сухое трение). Апробация методики выполнена на нескольких партиях резцов различных типоразмеров. Фрактографическими исследованиями показано, что механизм разрушения PDC-пластин при

лабораторных испытаниях идентичен эксплуатационному (контактная усталость), что обосновывает адекватность лабораторных испытаний реальным условиям.

В пятой главе на основе испытаний более 30–40 партий резцов различных производителей установлены зависимости стойкости PDC-пластин к поверхностному разрушению от размера алмазных зерен (монотонный рост стойкости с увеличением размера зерен) и от содержания металлов-связок — кобальта и вольфрама (минимальное разрушение при содержании кобальта 2–3% масс.; слабое влияние вольфрама вплоть до ~1,5% масс.). Разработана классификация PDC-резцов по четырем группам стойкости к поверхностному разрушению, основанная на скорости весового изнашивания. Выполнено сопоставление предложенной методики и классификации с методикой, рекомендованной Институтом нефтегазовых технологических инициатив (ИНТИ, редакция 2024 г.), показавшее их принципиальное совпадение и приоритет разработок автора по времени. Проведена сличительная проверка результатов лабораторных испытаний с фактической эксплуатационной наработкой резцов, снятых с отработавшего долота.

В заключении обобщены основные результаты и выводы по работе, отражающие решение поставленных задач.

3. Научная новизна

Возможности использования резца *PDC* еще не до конца изучены, а изложенные в диссертационной работе защищаемые положения способствуют улучшению качества режущих элементов, тем самым расширяют возможности их применения.

В диссертации получен ряд новых фундаментальных и прикладных результатов, существенно развивающих материаловедение сверхтвердых композитов.

- 1) Установлен механизм поверхностного разрушения. Автором впервые на основе фрактографического анализа идентифицирован механизм контактной

усталости для поликристаллических алмазных пластин. Показано, что разрушение происходит не за счет абразивного царапания (что является общепринятой точкой зрения), а за счет накопления повреждений в виде зарождения, развития и слияния трещин в алмазных зернах под действием циклических нагрузок.

2) Установлены структурно-фазовые зависимости стойкости. Впервые в широком диапазоне выявлено количественное влияние среднего размера алмазных зерен и содержания металлической связки на скорость поверхностного разрушения.

3) Разработан материаловедческий критерий предельного состояния. Предложен новый параметр, связывающий твердость разбуриваемой породы, площадь изношенной поверхности режущей кромки и работоспособность долота. На его основе научно обоснован выбор металл-абразивного контртела (алмазного отрезного диска) для воспроизводимых испытаний, что является принципиально новым подходом.

Результаты представленной работы позволяют производить исследование износа *PDC* используя комплексный подход, учитывая не только состав композита, но и геометрические особенности установки его в буровом инструменте, например, передний угол установки (угол атаки), выпуск резца, площадь контакта с забоем, что безусловно расширяет научное представление о работе такого инструмента.

4. Практическая значимость

Результаты диссертации имеют высокую практическую ценность и готовы к внедрению в промышленность.

Разработана и апробирована методика входного контроля качества *PDC*-резцов. Данный подход позволяет в лабораторных условиях за 30 минут ранжировать партии резцов по четырем группам, что даст возможность отбраковывать некачественные партии, тем самым повышая надежность бурового инструмента.

Создано специализированное оборудование для проведения испытаний (патент RU 2821172 С1), позволяющее условия испытаний максимально приближать к реальным, учитывая комплекс важных параметров: силу трения, нагрузку и температуру.

Разработана классификация *PDC*-резцов по четырем группам стойкости, что позволяет обоснованно рекомендовать резцы для армирования инструмента определенной области применения.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты работы внедрены в производственную деятельность компаний ООО «РН-Сервис» и ООО «ХимБурСервис», что подтверждено приведенными в диссертационной работе актами. Помимо этого, их можно рекомендовать к использованию в таких организациях, как ООО «Алком» — для организации входного контроля качества выпускаемых партий *PDC*-резцов непосредственно на производстве по разработанной классификации из четырех групп стойкости; НПП «Буринтех», ГК «ТОФС» — для сертификационных и приемочных испытаний закупаемых партий резцов перед их установкой в буровые долота; сервисные буровые компании (ООО «Газпром бурение», ООО «РН-Бурение», Буровая компания «Евразия», АО «Сибирская Сервисная Компания») — для оценки и отбраковки партий резцов на этапе подготовки долот к спуску в скважину с целью снижения аварийности и непроизводительного времени бурения; нефтегазодобывающие компании (ПАО «Газпромнефть», ПАО «НК «Роснефть», ПАО «ЛУКОЙЛ») — при формировании технических требований к поставщикам буровых долот и резцов в рамках программ импортозамещения; а также Институт нефтегазовых технологических инициатив (ИНТИ) — в качестве основы для разработки единого отраслевого стандарта сертификационных испытаний *PDC*-резцов».

6. Достоверность полученных результатов

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается, прежде всего, внушительным объемом экспериментальных

данных, использованием современных сертификационных методов и оборудования, корректной обработкой результатов. Полученные данные хорошо согласуются с фундаментальным представлением о физике разрушения материалов и не противоречат результатам ведущих исследователей в этой области.

7. Соответствие работы заявленной научной специальности и отрасли наук

Диссертационная работа Колибасова Владимира Александровича соответствует специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки). В работе решаются задачи, отнесенные к пунктам паспорта специальности п. 1, п. 5, п. 6, п. 7.

- п. 1. Разработка новых металлических и композиционных материалов, в том числе капиллярно-пористых, с заданным комплексом свойств путем установления фундаментальных закономерностей влияния дисперсности, состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и иных факторов на функциональные свойства материалов. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры металлических, неметаллических материалов и композитов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности деталей, изделий, машин и конструкций (химической, нефтехимической, энергетической, машиностроительной, легкой, текстильной, строительной).

- п. 5. Установление закономерностей и критериев оценки разрушения металлических, неметаллических, и композиционных материалов и функциональных покрытий от действия механических нагрузок и внешней среды.

- п. 6. Разработка и совершенствование методов исследования и контроля структуры, испытание и определение физико-механических и эксплуатационных свойств металлических, неметаллических и композиционных материалов и функциональных покрытий.

- п. 7. Теоретические и прикладные проблемы стандартизации новых материалов и технологических процессов их производства, обработки и переработки. Системы управления качеством, сертификация и аккредитация материалов и технологических процессов.

8. Полнота изложения основных результатов работы в научных публикациях

Основные результаты диссертационной работы в достаточной мере опубликованы в открытой печати. Автором выпущено 12 научных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.6.17, 1 статья в издании из базы Scopus, 2 патента РФ на изобретения, что, безусловно, подтверждает практическую значимость разработанных способа и устройства.

9. Уровень апробации основных положений работы, выносимых на защиту

Основные положения и результаты работы прошли широкую апробацию на 9-и международных и всероссийских научно-технических конференциях в период с 2023 по 2026 г.г.

Работа отмечена победами в грантовых конкурсах, что свидетельствует о признании научной общественностью, актуальности и перспективности исследований.

10. Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат передает содержание диссертационной работы. В нем четко сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость. Автореферат отражает этапы исследования. Содержание автореферата дает полное и ясное представление о выполненной работе.

11. Замечания по диссертационной работе

По работе имеются следующие замечания:

1. Автор доказывает, что для резцов PDC ведущим механизмом износа является контактная усталость, а не абразивное изнашивание. Однако, в тексте работы часто применяется термин именно «абразивное

изнашивание», что вносит терминологическую путаницу. Следовало бы более последовательно использовать термины, например, «поверхностное разрушение» или «изнашивание в результате контактной усталости».

2. В диссертации показано, что нагрев до 750°C не влияет на стойкость резцов. Однако, известно, что именно кобальт является причиной снижения термической стабильности резцов PDC. Автор уверяет, что это является «предметом споров». Однако, возможно, в данном исследовании наблюдаемое отсутствие деградации при температуре 750°C указывает лишь на низкое содержание кобальта в образцах. Было бы полезно привести в работе конкретные данные по исходному содержанию кобальта в испытываемых резцах, чтобы проверить это предположение.

3. В разработанном критерии предельного состояния (стр. 77-78) фигурирует площадь износа A_{ii} . Данный параметр имеет большое значение при определении механизма разрушения горной породы (распределения векторов сил при взаимодействии инструмента с забоем), но в работе не описана методика ее оперативного измерения. Для практического применения критерия очень важно иметь методику быстрого оценивания этой площадки.

4. В главе 5 (рис. 5.7 и 5.8) показаны зависимости весового износа от содержания кобальта и вольфрама. На стр. 117 сказано, что выводы сделаны на основе выборки из 40 партий. Однако сказано, что в ходе ранжировочных испытаний для выборки критерий классификации отбирали по 5 резцов из каждой партии, что дает 200 точек. В работе не указано, как именно усреднялись данные для построения гистограмм и линий тренда, что несколько затрудняет оценку степени разброса свойств внутри одной партии.

Заключение по диссертации

Указанные замечания носят дискуссионный характер и не снижают научной и практической ценности работы. Диссертация Колибасова Владимира Александровича на тему «Закономерности и критерии оценки

поверхностного разрушения алмазных резцов буровых долот и средства для их сертификационных испытаний» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-технической проблемы материаловедения – разработка методологии оценки и контроля стойкости поликристаллических алмазных пластин к поверхностному разрушению.

Работа отличается высоким научным уровнем, новизной, практической направленностью и достоверностью полученных результатов.

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор, Колибасов В.А., заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Попова Марина Сергеевна,

кандидат технических наук по специальности

25.00.14 – Технология и техника геологоразведочных работ,

доцент высшей нефтяной школы

Федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования

«Югорский государственный университет» (ЮГУ)

628011, Россия, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,

г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, д.16

Тел. +7 (346) 747-70-00

E-mail: alleniram83@mail.ru

