

## Научное направление

### «Теоретические основы обработки высокопрочных материалов»

Код ГРНТИ: 55.20.27. Научный руководитель д.т.н., профессор Янюшкин А.С.

Наименования тем исследования:

1. Комбинированная электроалмазная обработка инструментальных и нанопропроченных материалов. Код ГРНТИ: 55.19.05. Научный руководитель к.т.н., доцент Попов В.Ю.

2. Управление процессами комбинированной электроалмазной обработки при обработке композиционных неметаллических материалов. Код ГРНТИ: 55.19.13. Научный руководитель д.т.н., профессор Лобанов Д.В.

3. Разработка теоретических основ электроалмазной обработки высокопрочных материалов. Код ГРНТИ: 55.20.27; 55.31.35. Научный руководитель д.т.н., профессор Янюшкин А.С.

**Формулировка решаемой проблемы:** Проведённый научным коллективом кафедры технологии машиностроения всесторонний анализ состояния исследований в области прогрессивных комбинированных электрофизических и электрохимических методов обработки инструментальных, высокопрочных, труднообрабатываемых композиционных и наноструктурных материалов позволил отметить следующее. Как в Российской Федерации, так и за рубежом, данным исследованиям уделяется недостаточное внимание. В Германии, США, Великобритании и других развитых стран отмечены некоторые тенденции развития электроэрозионной, абразивной обработок, возможности комбинирования различных процессов, съема материала по сравнению с обработкой резанием, разработки и совершенствования электроэрозионных станков. Здесь чётко прослеживается слабая связь науки с производственными условиями, отсутствие достаточно простых и надёжных способов управления процессами, протекающими в зоне обработки. Это в свою очередь является следствием недостаточного использования комбинированных электроалмазных методов обработки и учета условий контактного взаимодействия между инструментальным и обрабатываемым материалами. Хотя известно, что причина снижения функциональных параметров в процессе обработки заключается в засаливании алмазных кругов, что приводит к возрастанию сил резания, температуры, расходу алмазных кругов и, как следствие, к ухудшению качества обрабатываемой поверхности. Поэтому, необходимо изучить процессы в зоне контакта, математически описать причину засаливания и создать благоприятные условия для качественной обработки изделий из инструментальных, высокопрочных композиционных и наноструктурных материалов.

**Цели научного исследования:** В настоящее время отечественная промышленность выпускает ряд композиционных материалов, считающихся обладателями самых высоких характеристик по твёрдости и прочности. Они нашли своё применение в разнообразных отраслях машиностроения и инструментальной промышленности. Однако классическое производство оказалось технологически не подготовлено к таким их характеристикам, а рекомендации по применению данных материалов ограничились лишь «щадящими» условиями их эксплуатации, что с экономической точки зрения, конечно, не выгодно. Исследования, выполненные под руководством профессора А.С. Янюшкина, однозначно это доказывают. Однако технический прогресс не должен стоять на месте и на смену композиционным

сверхтвёрдым, высокопрочным и труднообрабатываемым материалам уже приходит новое поколение материалов – функциональных, композиционных и конструкционных наноматериалов, в том числе и разрабатываемых на нашей кафедре. Анализ развития существующей ситуации показал, что в ближайшее время одной из главных проблем, препятствующей эффективному использованию и дальнейшему развитию потенциала нанотехнологий в Российской Федерации, будет являться увеличивающееся отставание от мирового уровня базового, технологического компонента инфраструктуры nanoиндустрии. Другими словами, следствием скачка в области создания новых инструментальных материалов, как правило, будет являться традиционное отсутствие технологии обработки данных материалов, технологии восстановления их технологических свойств. Разработка и сопровождение инновационной технологии высокоточной качественной обработки инструментальных, высокопрочных композиционных и наноструктурных материалов составляет суть данных исследований.

**Задачи научного исследования:** В числе основных задач, следует рассмотреть выявление природы засаливания абразивного круга на металлической связке при комбинированной электроалмазной обработке; исследование процесса формирования поверхностного слоя детали из новых нанопропрочненных материалов при комбинированной электроалмазной обработке; выявление факторов, влияющих на формирование поверхностного слоя при комбинированной электроалмазной обработке высокопрочных, труднообрабатываемых композиционных и наноструктурных материалов. Разработать способ управления процессом комбинированного электроалмазного шлифования обеспечивающий гарантированное качество обработанной поверхности и изделия в целом. Разработать устройство для автоматического управления процессом непрерывной правки алмазного круга на металлической связке, позволяющее снизить удельный расход алмазных кругов, мощность, силы резания и др. параметры. Определить теоретические модели электрических параметров (плотности тока правки круга и плотности тока травления), позволяющие рассчитать значения данных параметров, при которых достигается наилучшее качество обработанной поверхности. Получить эмпирические зависимости удельного съема металла, шероховатости обработанной поверхности, глубины дефектного слоя, удельного расхода круга, мощности и составляющие силы резания от режимов обработки при комбинированном электроалмазном шлифовании. Создать новое оборудование с более широкими техническими возможностями, отвечающее мировому уровню.

**Содержание исследования:** При обработке изделий из высокопрочных нанопропрочненных инструментальных материалов, в процессе затачивания металлорежущего инструмента или шлифования ответственных поверхностей деталей машин, практически не применяют шлифовальные алмазные круги на металлической связке. Известная справочная литература не рекомендует обрабатывать инструментальные стали алмазным инструментом, за исключением лишь чистовой, окончательной обработки. В первую очередь это связано с интенсивным засаливанием шлифовального круга и, как следствие, потери его режущей способности, что влечёт за собой появление на обрабатываемой поверхности разнообразных дефектов в виде прижогов, макро микротрещин, изменения структуры поверхностных слоев и т.п. Однако, экспериментальные исследования, проведённые нашим коллективом, однозначно доказывают: если создать соответствующие специфические и, главное, недорогие в эксплуатации условия, то алмаз и алмазные инструменты при такой обработке показывает высокие режущие способности. Так, было доказано, что в процессе шлифования образуется граница контакта, которая одновременно принадлежит инструментальному и обрабатываемому материалам. Протекающие здесь контактные процессы и реакции ответственны как за засаливание круга, так и образование дефектного слоя, и работоспособность инструмента в целом. На стадии исследования внешней картины

алмазональной поверхности шлифовальных кругов и дефектного слоя заточенных пластин из инструментальных сталей, чётко проявились преимущества комбинированной электроалмазной обработки. Круг имеет развитую режущую поверхность, а засаливание практически отсутствует, о чём говорит развитый рельеф поверхности алмазного круга. Если же рассматривать обычное алмазное шлифование инструментальных материалов алмазными кругами, то в данном случае происходит постепенное засаливание круга. Однако, вопреки сложившемуся мнению, что поры круга и алмазные зерна всего лишь забиваются компонентами обрабатываемого материала, в засаленном слое наблюдаются элементы как самой связки круга, так и вторичных соединений, образующихся в результате адгезионно-диффузионных явлений, химических реакций и рекристаллизации. Зафиксированные в зоне контакта химические элементы, в частности, алюминий, медь, олово, цинк и железо являются продуктами диффузии, которые при взаимодействии с углеродом и кислородом, приводят к образованию новых карбидов и окислов. Усиление же и локализация диффузионных процессов возникает при интенсификации режимов шлифования, когда не только локальные, но и средние температуры в зонах контакта достигают высоких значений (более 1000°С). Для исключения большинства подобных негативных процессов, возникающих при алмазной обработке железоуглеродистых материалов, в том числе высокопрочных композиционных, и наноструктурных, следует, в первую очередь, создать наиболее благоприятные условия для алмазного инструмента, обеспечить ему условия, при которых абразивные круги работали бы в режиме самозатачивания. Достичь этой цели можно управляя электрическими характеристиками обработки, «подобрав» оптимальные режимы, плотности тока правки и травления. Практика показывает, что режим устойчивого самозатачивания наиболее полно реализуется в условиях непрерывной, электрохимической правки круга и одновременного травления (анодного растворения) обрабатываемой поверхности и характеризуется постоянством радиальной составляющей силы  $F_r$  и мощности резания. В качестве научного и производственного результата мы получаем преимущество комбинированной обработки перед простыми методами электроалмазного шлифования по важнейшим параметрам: величине дефектного слоя и качеству изготавливаемых изделий; удельному расходу алмазов и режущей способности. Поэтому авторы рекомендуют использовать данную технологию в различных отраслях промышленности для шлифования и затачивания самых разнообразных инструментов: резцов, фрез, зенкеров, свёрл, ответственных изделий машиностроения и т.д. При этом требуется несложная модернизация оборудования, которая осуществима практически на всех видах заточных и шлифовальных станков, а также создание нового вида оборудования с более широкими технологическими возможностями.

**Новизна научного исследования:** Позволяет решать принципиально новые задачи с учётом:

- теоретических основ контактного взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов, причин засаливания алмазных кругов на металлической связке;

- научного обоснования критериев оценки режима и условий самозатачивания, обеспечивающих постоянство режущей способности и минимального расхода алмазных кругов;

- метода количественного определения энергии адгезионно-диффузионного взаимодействия контактирующих материалов, доказательстве механо-физико-химической природы процесса засаливания, разработанных рекомендаций по устранению этого негативного явления. Усовершенствование известных результатов: - предложенной классификацией дефектов при электроалмазной обработке высокопрочных наноструктурных материалов, установлением их связи со стойкостью инструмента, определением уровней механических и электрических параметров обработки,

гарантирующих высокое качество изделий машиностроения. Открывает новые направления развития исследований в науке и технике: - в разработке способа и устройства управления процессом комбинированного электроалмазного шлифования, позволяющих автоматически поддерживать заданные условия в зоне резания, значительно повысить качество обработанной поверхности и производительность шлифовальной операции. Получен принципиально новый результат: - с учётом математических моделей технологического процесса комбинированного электроалмазного шлифования, позволяющих определить значения электрических параметров плотности тока правки круга и плотности тока травления, учитывающих изменения условий обработки, при которых достигается наилучшее качество обработанной поверхности; - с применением эмпирических зависимостей шероховатости обработанной поверхности, глубины дефектного слоя, удельного съёма металла, удельного расхода круга, эффективной мощности и радиальной составляющей силы резания от режимов обработки при комбинированном электроалмазном шлифовании, на основе которых определяются рациональные режимы шлифования.

#### **Ожидаемые результаты исследования:**

- новые научные данные о процессах, явлениях, закономерностях, существующих в исследуемой области, позволят прогнозировать и получать качественные показатели обработанной поверхности и обоснованно назначать режимы работы оборудования при комбинированном электроалмазном шлифовании;

- открытие путей применения новых явлений и закономерностей, разработанных и предложенных промышленности в рамках технологии обработки изделий из высокопрочных композиционных и нанопропроченных материалов, включающей различные варианты модернизации и разработку нового оборудования (электрические схемы и источники технологического тока) позволит вывести отдельные отрасли машиностроения на мировой уровень;

- теоретическое и методологическое обоснование принципов и путей создания и модернизации в области промышленного использования эффективного комбинированного метода электроалмазной обработки высокопрочных композиционных и наноструктурных материалов, обеспечивающих их высокое качество и эксплуатационные характеристики при минимальных энергетических затратах.

#### **Основные научные результаты коллектива:**

1. Разработаны элементы теории протекания микроконтактных процессов во время механической обработки.

2. Разработаны основы теории контактирования обрабатываемых композиционных и сверхтвёрдых материалов с образованием поверхностного слоя заданных характеристик. Выбраны приоритетные параметры процессов комбинированной электроалмазной обработки.

3. Разработана модель формирования поверхностного слоя деталей машин с учётом модели контактирования.

4. Дано математическое описание основных процессов, участвующих в комбинированной обработке высокопрочных и труднообрабатываемых материалов с оценкой их влияния на качество поверхностного слоя.

5. Выявлены основные факторы, влияющие на формирование поверхностного слоя деталей машин при комбинированной электроалмазной обработке.

6. Созданы специализированное оборудование, технологическая оснастка, электрические схемы под комбинированные методы обработки с их модернизацией.

7. Разработаны теоретические основы физико-химических процессов, протекающих при комбинированной электроалмазной обработке высокопрочных и труднообрабатываемых материалов.

8. Научным коллективом по данному научному направлению издано: 9 монографий, 18 учебных пособий, опубликовано более 300 научных статей, получено более 30 патентов РФ.

Полученные результаты окажут влияние на развитие новых научно-технических и технологических направлений, разработку новых технических решений, последующие НИР и ОКР, увеличение выпуска новых изделий в машиностроении, изготовленных из высокопрочных и наноструктурных материалов. Разработка рекомендаций и предложений по использованию результатов в выполняемых инновационных проектах позволят вывести отечественную продукцию машиностроения на современный мировой уровень.

Дальнейшие исследования продолжаются в следующих направлениях:

- разработка теоретических основ процесса комбинированной электроалмазной обработки высокопрочных и труднообрабатываемых материалов;
- разработка инновационной технологии высокоточной обработки инструментальных высокопрочных и наноструктурных материалов;
- автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в машиностроении;
- проектирование и разработка технологии изготовления прогрессивных конструкций сложнопрофильного режущего инструмента;
- теория, практика и исследование нейтральных технологических сред взамен агрессивных электролитов в процессах электрохимической обработки;
- разработка технологии изготовления сложнопрофильных инструментов для обработки композиционных материалов;
- разработка управляющих программ и создание баз данных для совершенствования технологических процессов механической обработки деталей машин и инструментов.