

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор учреждения образования  
«Белорусский государственный  
аграрный технический университет»,  
канд. техн. наук, доцент



Н.Н. Романюк

2023 г.

### **ОТЗЫВ ОПОНИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу Малеронка Владимира Владимировича «Технология упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 - технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Диссертационная работа содержит введение, общую характеристику работы, пять глав, заключение, библиографический список и 11 приложений. Общий объем работы составляет 193 страницы, включающих 68 иллюстраций, 27 таблиц, библиографический список (153 наименование, из которого – 24 публикации соискателя). По объему диссертационная работа соответствует предъявляемым требованиям.

Актуальность темы диссертации обосновывается тем, что поставленная в ней цель исследований и решаемые в работе задачи соответствуют приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2021–2025 годы в части создания новых многофункциональных материалов, нанотехнологий и нанодиагностики.

#### **Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки со ссылкой на область исследования паспорта соответствующей специальности, утвержденного ВАК.**

Диссертационная работа Малеронка В.В. посвящена исследованиям и разработке технологии упрочнения магнитно-импульсной обработкой (далее – МИО) осевого режущего инструмента, которая может применяться как при его изготовлении, так и для бывшего в эксплуатации инструмента. Объектом исследования является осевой режущий инструмент из быстрорежущей стали, а предметом исследования – технология его упрочнения магнитно-импульсной обработкой. Основное место в работе занимают исследования, посвященные возможности применения МИО для упрочнения рабочей части инструмента, имеющей сложный профиль. Подробно исследованы вопросы модификации структуры поверхностного слоя при магнитно-импульсном упрочнении, а также полученные результаты проведенной МИО осевого режущего инструмента, что соответствует отрасли технических наук.

Направленность проведенных в работе исследований и их содержание соответствуют заявленной специальности 05.02.07 – технология и оборудование

механической и физико-технической обработки по пунктам 1, 3, 5 раздела III «Области исследований» паспорта специальности.

**Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости.**

Вклад соискателя в решение научной задачи определен поставленными в диссертации задачами и состоит:

- в развитии актуального научного направления в области создания структуры и свойств быстрорежущих сталей и их аналогов посредством воздействия импульсным магнитным полем, оказывающего комплексное воздействие на упрочняемый слой тепловой энергией и микропластической деформацией, что обеспечивает структурно-фазовые превращения с изменением микротвердости, макро- и микронапряжений и приводит к снятию остаточных напряжений. Это вносит существенный вклад в развитие теории МИО и практики направленного изменения свойств быстрорежущих сталей и их аналогов;

- в разработке математической модели распределения температуры в осевом режущем инструменте с учетом его формы, размеров, а также процессов теплопередачи при МИО, что позволило соискателю рассчитать локальную температуру нагрева, необходимую для структурно-фазовых превращений в упрочняемом слое;

- в имитационном моделировании процесса МИО, позволившем установить закономерности распределения напряженности магнитного поля и давления в индукторе, вихревых индукционных токов в зависимости от режима обработки и определить рациональные варианты установки инструмента в индукторе;

- в установлении влияния структурно-фазовых превращений в поверхностном слое на изменение электросопротивления быстрорежущей стали, что позволило разработать способ неразрушающего контроля электрофизических свойств упрочненных поверхностных слоев режущего инструмента;

- в экспериментальном определении влияния режимов МИО (энергия импульса, количество циклов и т.п.) на структурно-фазовый состав, микротвердость и напряженное состояние упрочненных поверхностных слоев осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали и на его эксплуатационные характеристики.

Проведенные исследования, характеризующие личный вклад соискателя, и полученные им результаты отражены в диссертационной работе.

**Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень.**

Соискателю Малеронку В.В. может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «технология и оборудование механической и физико-технической обработки» за новые научные результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку технологии упрочнения осевого

режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой.

*Новые научные результаты*, полученные соискателем, включают:

- математическую модель преобразования при магнитно-импульсной обработке энергии индукционного тока в тепловую энергию и ее распределения в материале осевого режущего инструмента из быстрорежущих сталей, устанавливающую зависимость температуры нагрева упрочняемого слоя от технологических режимов обработки;

- имитационную модель технологических циклов МИО, учитывающую распределение напряженности и давления магнитного поля в индукторе, вихревых индукционных токов и температуры в режущем инструменте переменного поперечного сечения, устанавливающую градиент плотности вихревых индукционных токов и температуры, большее значение которых находится на поверхности сердцевины инструмента (стружечная канавка), имеющей более простую геометрическую форму;

- корреляционную зависимость величины электрического сопротивления упрочненного слоя от структурно-фазовых превращений остаточного аустенита и образования мелкоигольчатой мартенситной структуры в упрочненном слое режущего инструмента после МИО, что позволило разработать способ качественной оценки изменений электрофизических свойств упрочненных слоев режущего инструмента при пропускании тока высокой частоты с образованием скин-слоя и оценкой изменения электрического сопротивления (падения напряжения) упрочненного слоя.

Значимость научных результатов, полученных в диссертации, состоит в том, что они вносят вклад в дальнейшее развитие способов упрочнения режущих инструментов, открывают возможность управления процессом МИО путем контролируемого изменения силового воздействия.

*Практическая значимость* результатов исследований заключается:

- в обосновании, разработке и применении нового метода неразрушающего контроля структуры полученного упрочненного слоя, который позволяет не только контролировать изменения в поверхностном слое, но и после проведения анализа результатов контроля назначать эффективные режимы МИО;

- в разработке технологии упрочнения осевого режущего инструмента МИО, которая позволила получить повышение технологической стойкости концевых фрез в среднем в 2,3 раза, а осевых металлорежущих сверл в 1,8 раза.

Разработанный метод неразрушающего контроля защищен патентами Республики Беларусь и Российской Федерации.

**Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует.**

Изучение и анализ содержания диссертационной работы, автореферата, опубликованных статей и тезисов докладов на научных конференциях, интерпретации научных и практических результатов свидетельствуют о научной квалификации автора, соответствующей ученой степени кандидата технических наук по заявленной специальности. Диссертационная работа соответствует п.

20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Уровень научной подготовки Малеронка В.В. соответствует квалификации кандидата технических наук по заявленной специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

**Рекомендации по использованию результатов диссертации, которые могут найти практическое применение.**

Результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, и производственная апробация, показавшая увеличение стойкости упрочненного МИО осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали, могут быть использованы предприятиями, изготавливающими такой инструмент.

Разработанная технология магнитно-импульсного упрочнения инструмента рекомендуется к использованию на предприятиях машиностроительной и деревообрабатывающей отраслей промышленности для повышения стойкости используемого инструмента.

**Замечания по диссертации.**

1. Тема диссертации предусматривает разработку технологии магнитно-импульсного упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали без указания ее марки. Следовательно, понимается любая марка быстрорежущей стали. В главе 5 экспериментальные исследования и разработку технологии проводили по двум маркам: Р6М5 и легированной стали повышенной износостойкости марки Х6ВМФ. В итоге не понятно, насколько рекомендуемые режимы обработки будут приемлемы для других марок быстрорежущей стали.

2. Название раздела 1.2 не в полной мере отражает его содержание. Вариант наиболее близкого названия: «Магнитно-импульсная обработка режущего инструмента и современное представление о механизме его упрочнения». При этом абзацы 1 и 2, обосновывающие актуальность темы диссертации, следовало бы разместить во введении.

3. Нельзя согласиться с соискателем в том, что основным недостатком магнитно-импульсной обработки является ее малая изученность. Недостаточная изученность не может характеризовать возможности способа.

4. При анализе (с. 25-30) достигнутого уровня повышения стойкости режущего инструмента после магнитно-импульсной обработки не указаны сопоставимые параметры энергетического воздействия на упрочняемую поверхность (плотность тока, мощность и продолжительность импульсов), применяемого отдельными исследователями, что затрудняет определить влияние наиболее значимых технологических режимов на полученные результаты.

5. В работе недостаточно аргументирована необходимость контроля в каждом цикле магнитно-импульсного упрочнения величины электросопротивления упрочненного слоя (Приложение Г), что усложняет использование способа в производственных условиях. Более удобным является табличное представление технологических режимов для каждой марки (группы марок) быстрорежущей стали.

6. Не во всех формулах (с. 59-91) указана размерность входящих в них параметров.

7. Принятая при исследовании методика оценки износостойкости сверл (с. 54, 131, 132) по критерию температуры нагрева ленточки после сверления каждого отверстия не может дать достоверный результат, так как, во-первых, для измерения температуры пирометром необходимо вывести сверло из отверстия, а в течение времени вывода сверло плотно контактирует с металлом заготовки и происходит интенсивный отвод тепла, во-вторых, время вывода сверла из каждого отверстия будет различным. Представляется более приемлемым оценивать износостойкость по периоду стойкости сверла, который определяется общепринятыми в машиностроении методами.

8. В тексте диссертации допущены некоторые стилистические неточности (табл. 1.2, с. 19, 108) и опечатки (с. 12, 22, 33, 38 и др.).

Отмеченные недостатки не касаются положений, выносимых на защиту, не снижают научную и практическую ценность диссертации В.В. Малеронка и не ставят под сомнение результаты исследований и заключительные выводы по работе.

### **Заключение.**

Диссертационная работа Малеронка В.В. «Технология упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой» является завершенным квалификационным исследованием и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук (гл.3 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь» от 17.11.2004 г. № 560 (в ред. Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 N 190)), содержит принципиально новые научные данные об особенностях технологии упрочнения осевого режущего инструмента магнитно-импульсной обработкой.

Малеронко Владимир Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки за комплекс проведенных теоретических и экспериментальных исследований и полученные новые научно обоснованные результаты, включающие:

- метод численного расчета по разработанной математической модели распределения температуры в осевом режущем инструменте при МИО, на основании которого установлено, что для диаметров инструмента (8-12) мм 1 цикл МИО с энергией 10 кДж обеспечивает увеличение температуры инструмента на (160-200) °С, при которой начинается процесс релаксаций напряжений в материале упрочненного слоя, а при повторных циклах МИО происходит повышение температуры и начало структурно-фазовых превращений;

- результаты имитационного моделирования технологических циклов МИО (заряд и разряд конденсатора) при итерационном способе упрочнения (для энергии 10 кДж), установившие, что величина напряженности магнитного поля на поверхности инструмента  $H=(1,24-1,43) \cdot 10^7$  А/м обеспечивает давление

$p \approx (72-130)$  МПа, при котором происходит микропластическая деформация упрочняемого слоя;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния энергии импульса (4-10) кДж и количество циклов (1-15) магнитно-импульсной обработки на структурно-фазовые превращения, микронапряжения в упрочняемом слое осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали и его полное электрическое сопротивление, позволившие выбрать эффективные параметры технологических режимов магнитно-импульсной обработки (энергия импульса и количество циклов МИО): для энергии 4 кДж в количестве (9-13) циклов; 6 кДж – (8-11) циклов; 8 кДж – (7-10) циклов; 10 кДж – (5-8) циклов, которые обеспечивают упрочнение поверхностного слоя инструмента при минимальном расходе электроэнергии;

- результаты экспериментальных исследований воздействия магнитно-импульсной обработки на структурно-фазовый состав, микротвердость и микронапряжения упрочненных слоев осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали, позволившие обеспечить повышение технологической стойкости осевых концевых фрез в среднем в 2,3 раза, а осевых металлорежущих сверл – в 1,8 раза,

**что в совокупности** соответствует требованиям пунктов 19 и 20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Эксперт от оппонирующей организации назначен приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» от 17.05.2023г. № 161.

Доклад соискателя и предложенный экспертом проект отзыва на диссертацию заслушаны и обсуждены на заседании Проблемно-экспертного совета БГАТУ 31 мая 2023г. (протокол № 1).

Присутствовали 16 членов совета (из них 16 имеют ученую степень).

В голосовании участвовало: докторов наук – 4, кандидатов наук – 12.

Результаты голосования: «за» – 16, «против» – нет, «воздержались» – нет.

Председатель совета  
д.т.н., профессор



В.М. Капцевич

Эксперт  
д.т.н., профессор



Л.М. Акулович

Секретарь ученого совета  
к.т.н., доцент



В.Н. Еднач