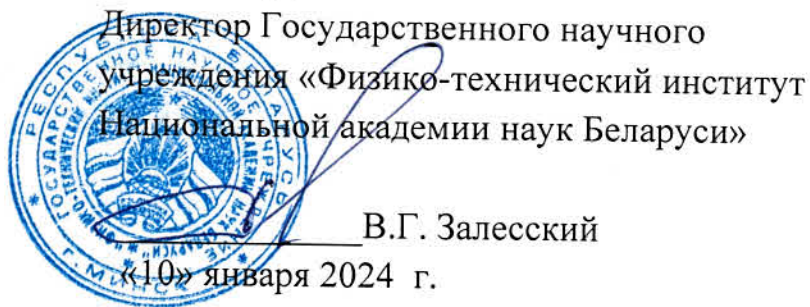


«УТВЕРЖДАЮ»



## ОТЗЫВ

оппонирующей организации  
на диссертацию **РАБЫКО Марины Александровны**  
«Технология упрочнения деформирующих элементов штампов тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

### **1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки**

Диссертационная работа Рабыко Марины Александровны «Технология упрочнения деформирующих элементов штампов тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем» посвящена актуальному направлению, связанному с разработкой технологии упрочнения с использованием тлеющего разряда с прикатодным магнитным полем деформирующих элементов штампов, которая должна обеспечить повышение твердости и износостойкости их рабочих поверхностей.

Выполненные экспериментальные исследования влияния прикатодного магнитного поля на характеристики тлеющего разряда, микротвердость материала поверхностного слоя обрабатываемых образцов из инструментальных сталей 4Х4ВМФС, 5Х3ВЗМФС и Х12МФ и конструкторско-технологической реализации источника формирования прикатодного магнитного поля позволили выявить диапазон оптимальных значений его индукции.

Экспериментальные исследования влияния технологических параметров обработки тлеющим разрядом (напряжения, силы тока и времени обработки), как с использованием прикатодного магнитного поля, так и без него на структуру, фазовый состав, микротвердость материала поверхностного слоя и износостойкость образцов из указанных сталей позволили установить структурно-фазовое состояние, характер протекания полиморфного превращения в матричной

фазе, изменение размеров карбидной фазы, глубину упрочненного слоя, зависимости повышения микротвердости и износостойкости по сравнению со значениями этих характеристик для объемно закаленных сталей при различных режимах обработки и параметры, обеспечивающие получение максимальных значений приращения микротвердости и износостойкости образцов.

Результаты экспериментальных исследований износостойкости упрочненных образцов и эксплуатационных характеристик деформирующих элементов штампов и их промышленной апробации позволили разработать технологический процесс упрочнения, отличающийся использованием прикатодного магнитного поля как источника интенсификации процесса обработки изделий в тлеющем разряде.

Указанные результаты соответствуют пп. 1, 2, 3 и 4 раздела III паспорта специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

В связи с этим содержание диссертации Рабыко Марины Александровны «Технология упрочнения деформирующих элементов штампов тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем», решаемые в ней задачи и полученные результаты соответствуют отрасли технических наук, а также специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

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

В диссертационной работе Рабыко Марины Александровны сформулирована и успешно достигнута цель разработки технологии упрочнения деформирующих элементов штампов тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем, обеспечивающей повышение твердости и износостойкости их рабочих поверхностей.

Экспериментально доказана эффективность применения дополнительного прикатодного магнитного поля для повышения микротвердости и износостойкости материала поверхностного слоя образцов и деформирующих элементов штампов из инструментальных сталей 5Х3ВЗМФС, 4Х4ВМФС, Х12МФ. Изучение структуры, фазового состава упрочненного слоя, установление зависимостей физико-механических свойств поверхностного слоя от технологических параметров упрочнения тлеющим разрядом с использованием дополнительного прикатодного магнитного поля позволило разработать метод и технологический процесс упрочнения поверхностей деформирующих элементов штампов. Технологический процесс внедрен в производство и используется в образовательном процессе.

Научная значимость результатов диссертации определяется следующим:



- экспериментально подтверждена возможность упрочнения образцов и изделий из инструментальных сталей при их размещении на катоде, расположенном в силовых линиях постоянного магнитного поля с индукцией 40-60 мТл, путем воздействия на поверхность изделий плазмой тлеющего разряда, возбужденного при остаточном давлении в диапазоне 1–50 Па, напряжении 0,1–10 кВ, плотности тока между анодом и катодом 5–10 мкА/см<sup>2</sup>, расстоянии между ними 0,1–1,0 м, в течение 10–30 мин и использовании анода с площадью, в 5–150 превышающей площадь катода (изделия и оснастки, на которой оно размещено);

- воздействие на образцы и изделия плазмой тлеющего разряда при наличии окружающего магнитного поля позволяет повысить по сравнению с обработкой только тлеющим разрядом микротвердость поверхностного слоя образцов из стали 5Х3В3МФС в 1,78 раза (износостойкость в 1,42 раза), из стали 4Х4ВМФС – в 1,05 раза (износостойкость в 1,35 раза) и из стали Х12МФ - в 1,28 раза (износостойкость в 1,31 раза);

- изменение микротвердости материала поверхностного слоя образцов и износостойкости образцов и деталей из указанных инструментальных сталей при обработке в тлеющем разряде с прикатодным магнитным полем обусловлено структурными превращениями, протекающими в их поверхностном слое, заключающимися в количественном изменении содержания остаточного аустенита (при протекании фазового превращения  $\gamma\text{-Fe} \leftrightarrow \alpha\text{-Fe}$ ), измельчении карбидных включений и равномерном их распределении в поверхностном слое образцов из стали 5Х3В3МФС глубиной до 100 мкм (что на 30–35 % превышает значение при воздействии только тлеющего разряда), образцов из стали 4Х4ВМФС глубиной до 85 мкм (на 65–70 %) и образцов из стали Х12МФ глубиной до 80 мкм (на 55–60 %),

что дало возможность предложить новый энергосберегающий метод поверхностного упрочнения и экспериментально опробовать технологию упрочнения мелко- и среднегабаритных изделий инструментального назначения.

Общий анализ результатов диссертации позволяет сделать вывод о том, что соискателем внесен существенный вклад в развитие технологии повышения эксплуатационных характеристик деталей широкого спектра назначения, в том числе деформирующих элементов штампов.

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

Соискателю Рабыко Марине Александровне может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки за следующие научно-обоснованные результаты:

- установленные оптимальные значения параметров воздействия тлеющего разряда на стали с целью достижения наиболее высоких характеристик (твердости и износостойкости рабочих поверхностей) инструмента из штамповых сталей 5Х3В3МФС, 4Х4ВМФС и Х12МФ - остаточное давление в рабочем пространстве 2–3 Па, напряжение разряда между анодом и катодом 0,8–3,2 кВ, плотность тока 0,125 - 0,375 А/м<sup>2</sup>, время обработки 10–30 мин. Определено влияние на структурно-фазовые превращения и механические свойства сталей использования дополнительного магнитного поля с индукцией 40-60 мТл, повышающего эффективность процесса ионизации и концентрацию положительных ионов у поверхности изделия;

- экспериментально-статистические модели с применением центрального композиционного планирования второго порядка по определению влияния напряжения тлеющего разряда между анодом и катодом, плотности тока и времени обработки на значения характеристик поверхностного слоя сталей 5Х3В3МФС, 4Х4ВМФС и Х12МФ. Показано, что обработка сталей разрядом с дополнительно прикладываемым прикатодным магнитным полем обеспечивает рост микротвердости материала поверхности на 19–30 % и износостойкости в 2–2,3 раза по сравнению с характеристиками объемно закаленных сталей, а также увеличивает глубину упрочненного слоя на 30–60 % по сравнению с упрочнением тлеющим разрядом без использования прикатодного магнитного поля с одновременным снижением на 30–45 % используемой удельной мощности горения разряда;

- закономерности структурно-фазовых превращений в поверхностных слоях при обработке сталей 5Х3В3МФС, 4Х4ВМФС и Х12МФ тлеющим разрядом с дополнительно прикладываемым прикатодным магнитным полем, заключающиеся в изменении параметра кристаллической решетки матричной фазы  $\alpha$ -Fe, соотношении фаз  $\gamma$ -Fe и  $\alpha$ -Fe, перераспределении карбидной фазы  $Cr_{23}C_6$  в поверхностном слое образцов из стали 5Х3В3МФС на глубине до 100 мкм, из стали 4Х4ВМФС - до 75 мкм, карбидной фазы  $Cr_7C_3$  в поверхностном слое образцов из стали Х12МФ - до 80 мкм.

Опытно-промышленная проверка результатов выполненной работы проводилась в производственных условиях в ОАО «Могилевский завод «Строммашина», ООО «ЗнакОМ» (г. Могилев), МАОА «Красный металлист» (г. Могилев), ОАО «Могилевлифтмаш». Особо следует отметить результаты сравнительных производственных испытаний, выполненных автором в ОАО «ТАиМ» (г. Бобруйск), где при выполнении хозяйственного договора успешно испытаны 38 единиц 20 видов инструмента.

Диссертационная работа Рабыко Марины Александровны выполнена на высоком научном и экспериментальном уровне с использованием современного

оборудования, методик анализа микро- и макроструктуры, современных программных комплексов обработки экспериментальных данных. Воспроизводимость экспериментов и согласованность с литературными данными позволяют считать полученные результаты достоверными. Текст диссертации и автореферата изложен ясно, логично и аргументированно. Положения, выносимые на защиту, и выводы диссертации освещены в 36 работах, в том числе 2 монографиях в соавторстве, 6 статьях в научных изданиях, соответствующих перечню ВАК, 11 статьях в сборниках материалов научных конференций, 15 тезисах докладов в сборниках материалов научных конференций, 1 патенте Республики Беларусь на изобретение и 1 патенте на полезную модель.

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

Представленная диссертация по актуальности, уровню научной новизны, практической, социальной значимости соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Республики Беларусь к кандидатским диссертациям в области технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Анализ результатов, представленных в диссертации Рабыко Марины Александровны, логическая последовательность решения задач, поставленных в работе, обработка экспериментальных данных, полученных комплексом современных взаимодополняющих методик исследований, а также список и содержание публикаций по теме диссертации позволяет заключить, что научная квалификация соискателя соответствует ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

#### **5. Замечания по диссертационной работе**

В целом, положительно оценивая диссертационную работу Рабыко Марины Александровны, можно сделать следующие замечания:

1. На рисунке 2.1 диссертации и рисунке 1 автореферата отсутствует контакт полюса (-) с обрабатываемым изделием.

2. Автор указывает, что температура изделия в процессе обработки тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем не превышает 90 °С и на стр. 50 пишет: *«Изделия упрочняются при ... температурах, не вызывающих термических превращений».*

Однако далее автор предполагает, что:

стр. 96 - Снижение количества  $\gamma$ -Fe в сталях... может быть связано с протеканием процессов отпуска...



стр. 96, 105 уменьшение уширения (110) вызвано *процессом отпуска*, стр. 96, 113 на распад аустенита оказывает влияние *процесс отпуска*, стр. 15 автореферата - на распад остаточного аустенита может оказывать влияние *протекающий процесс отпуска*.

При температуре 90 °С изделия в ходе обработки нельзя пояснить происходящие в сталях изменения процессом отпуска.

3. При определении глубины упрочненного слоя автор не использовала стандарт **СТБ 2307-2013 «Поверхностно-упрочненные слои металлических деталей. Методы измерения толщины»**. По этой причине фактически полученные при проведении процесса обработки тлеющим разрядом с прикладываемым магнитным полем значения глубины упрочненного слоя (90 мкм для стали 5Х3В3МФС и 80 мкм - для 4Х4ВМФС) больше, чем показаны в таблице 13 автореферата и таблице 4.13 в тексте диссертации. Кроме того, автор некорректно внесла в указанные таблицы цифры по глубине упрочненного слоя для сталей 5Х3В3МФС и 4Х4ВМФС, они не соответствуют рисункам.

*Справочно: толщина азотированного слоя, в соответствии с СТБ 2307-2013 «Поверхностно-упрочненные слои металлических деталей. Методы измерения толщины», определяется как расстояние от поверхности до глубины с твердостью, на HV50 превышающей твердость основы.*

4. На рис. 4.6 а,б,в, 4.10 а,б,в, 4.16 а,б,в, 4.20 а,б,в, 4.26 а,б,в, 4.30 а,б,в приведены практически идентичные дифрактограммы. Нужно ли было их приводить?

5. Автор провела:

- в лабораторных условиях на машине трения сравнительные исследования образцов после объемной закалки и упрочненных по различным режимам, разработанным в её исследованиях,

- и сравнительные испытания в заводских условиях штампов, объемно закаленных по стандартным режимам, с объемно закаленными штампами, деформирующие элементы которых упрочнялись по различным режимам, разработанным в её исследованиях.

Эти исследования и испытания показали повышение износостойкости и ресурса работы инструмента благодаря обработке в тлеющем разряде с прикатодным магнитным полем, штампов для горячей штамповки в 3–4 раза, для холодной штамповки в 4,5 раза.

В связи с этим непонятно использование еще одной характеристики «контактная выносливость», которая в тексте диссертации появляется впервые в разделе 5.2 (стр. 125). Почему автор разделяет достижение **максимальной контактной выносливости**, для которой обработку следует проводить в соответствии с таблицей 5.1 диссертации и таблицей 3 автореферата, а для

достижения **максимальной износостойкости** - с таблицей 5.2. и таблицей 6, соответственно.

6. Стр. 123 диссертации и п. 10 этапа «005 Контрольная» технологического процесса. Входной контроль твердости с использованием микротвердомера в принципе возможен. Но трудно представить, что в заводских условиях для входного контроля путем измерения микротвердости будет проводиться подготовка поверхности изделия до нужной шероховатости ( $Ra \sim 0,1$  мкм и менее). Вполне достаточно и более экономично применение стандартного твердомера для входного контроля твердости.

7. Имеются некорректные и неудачные словосочетания:

- *снижение остаточного аустенита,*
- *понижение количества остаточного аустенита*
- с. 113 *снижение количества остаточного аустенита,*
- с. 96 - *снижению количества  $\gamma$ -Fe в сталях,*
- с. 97 - *повышение значений уширения дифракционных линий,*
- *исследуя отражение от дифракционной линии (640)  $Cr_{23}C_6$ ,*
- *исследуя отражение от дифракционной линии (260)  $Cr_7C_3$ ,*
- с. 118 - *Результаты значений параметров шероховатости,*
- *для контроля межвитковой температуры использовалась,*
- с. 54 - *магнитное поле с магнитной индукцией от 20 до 80 мТл,*
- *классическая термопара,*
- *классическая мартенситная структура,*
- *классический метод упрочнения.*

К сомнительным утверждениям относится предложение «В последнее время *широкое распространение получило аэродинамическое упрочнение изделий ...*» (с. 43).

Указанные замечания не снижают научной, практической и социальной значимости работы и не касаются положений, выносимых на защиту, и выводов.

#### **6. Рекомендации по практическому использованию результатов диссертации**

Результаты диссертационной работы Рабыко Марины Александровны являются научной основой дальнейших исследований воздействия тлеющим разрядом, в том числе с прикатодным магнитным полем, на другие инструментальные материалы и группы режущего и деформирующего инструмента. Метод воздействия тлеющим разрядом с наличием прикатодного магнитного поля является одним из эффективных и экономичных вариантов поверхностного упрочнения изделий. Он может применяться для обработки не только деформирующих элементов штампов, которые эксплуатируются при холодной штамповке и горячей пластической деформации, но и других

инструментов и изделий, для которых необходимо обеспечение высоких эксплуатационных свойств поверхностного слоя. Результаты диссертации апробированы на целом ряде предприятий (ОАО «Могилевский завод «Строммашина», ООО «ЗнакОМ», МАОА «Красный металлист», ОАО «ТАиМ», ОАО «Могилевлифтмаш», внедрены на ОАО «ТАиМ» с экономическим эффектом 4 849,19 руб.) Разработанная технология может быть использована и другими предприятиями металлообрабатывающего комплекса Республики Беларусь.

Результаты диссертационной работы Рабыко Марины Александровны используются при подготовке студентов технических специальностей при изучении спецкурсов «Основы технологии машиностроения», «Технология механической и физико-технической обработки», «Эффективные методы повышения эксплуатационных характеристик деталей машин» в Белорусско-Российском университете и могут быть использованы при чтении аналогичных курсов в других высших учебных заведениях.

## **7. Заключение**

Диссертационная работа Рабыко Марины Александровны «Технология упрочнения деформирующих элементов штампов тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки, является законченной квалификационной научной работой, подготовленной соискателем самостоятельно. По уровню научной новизны и практической значимости диссертация соответствует требованиям п. 20 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь» ВАК, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки, а соискатель Рабыко Марина Александровна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук за следующие результаты:

- экспериментальное обоснование и подтверждение возможности повышения эффективности процесса ионизации остаточных атмосферных газов в плазме тлеющего разряда, что позволило упрочнять образцы и изделия из инструментальных сталей путем применения дополнительного постоянного магнитного поля с индукцией 40-60 мТл, при размещении образцов и изделий на катоде и воздействии на них плазмой тлеющего разряда, возбужденного при остаточном давлении в диапазоне 1–50 Па, напряжении 0,1–10 кВ, плотности тока между анодом и катодом 5–10 мкА/см<sup>2</sup>, расстоянии между ними 0,1–1,0 м, в течение 10–30 мин и использовании анода с площадью, в 5–150 превышающей площадь катода;



- установление возможности повышения, по сравнению с обработкой только тлеющим разрядом, микротвердости материала поверхностного слоя образцов из стали 5Х3В3МФС в 1,78 раза (износостойкости в 1,42 раза), из стали 4Х4ВМФС – в 1,05 раза (износостойкости в 1,35 раза) и из стали Х12МФ - в 1,28 раза (износостойкости в 1,31 раза) благодаря наличию дополнительного окружающего магнитного поля;

- установленные закономерности изменения микротвердости поверхностного слоя образцов и износостойкости образцов и деталей из указанных инструментальных сталей при обработке в тлеющем разряде с прикатодным магнитным полем, обусловленные структурными превращениями, протекающими в их поверхностном слое, заключающимися в количественном изменении содержания остаточного аустенита (при протекании фазового превращения  $\gamma\text{-Fe} \leftrightarrow \alpha\text{-Fe}$ ), измельчении карбидных включений и равномерном их распределении в поверхностном слое образцов из стали 5Х3В3МФС глубиной до 100 мкм (что на 30–35 % превышает значение при воздействии только тлеющего разряда), образцов из стали 4Х4ВМФС глубиной до 85 мкм (на 65–70 %) и образцов из стали Х12МФ глубиной до 80 мкм (на 55–60 %),

что дало возможность предложить новый энергосберегающий метод поверхностного упрочнения и экспериментально опробовать технологию упрочнения мелко- и среднегабаритных изделий инструментального назначения.

Эксперт назначен приказом директора ГНУ «ФТИ НАН Беларуси» № 174 от 22.12.2023 г. Отзыв обсужден и принят на расширенном заседании секции «Технологическая» Ученого совета ГНУ «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (протокол № 1 от 09.01.2024 г.), на котором соискатель М.А. Рабыко выступила с докладом. На заседании присутствовало 5 докторов и 12 кандидатов наук. Результаты открытого голосования: «за» – 17, «против» – нет, воздержались – нет.

Председательствующий на расширенном заседании секции «Технологическая» Ученого совета, кандидат технических наук

 В.Я. Лебедев

Секретарь секции, кандидат технических наук


 А.М. Милюкова

Эксперт, доктор технических наук, профессор

 И.Л.Поболь

Отзыв послушан в совет  
12.01.24  
Ученый секретарь  
Давыдова О.И.

9

С отзывом ознакомлена  
12.01.24  Рабыко М.А.