

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Рабыко Марины Александровны на тему «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

**Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите.** Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки). (Приказ Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 23.12.2022 г. № 462), в частности, разделу 1: Процессы физико-химической обработки материалов, включая комбинированную и высокоэнергетическую обработку материалов с наложением различных энергетических воздействий и использованием возникающих при этом физических, химических, электромагнитных и других эффектов.

**Актуальность темы диссертации.** Представленная диссертация посвящена разработке технологии упрочнения деформирующих элементов штампов тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем. что соответствует с п. 4. «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы (машиностроение и машиноведение)» Перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь на 2021-2025 гг., утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 г. № 156.

Актуальность работы, в первую очередь, определяется объектом исследования. Деформирующие элементы штампов являются одними из основных групп инструментальной оснастки, их использование при получении изделий машиностроения составляет порядка 60%. Высокая стоимость оснастки обуславливает и высокую долю таких операций при формировании себестоимости продукции, что, в свою очередь, влияет на конкурентоспособность машин и оборудования.

Поэтому разработки в области повышения эксплуатационных характеристик деформирующих элементов штампов, в первую очередь пуансонов и матриц, обеспечивающие рост производительности труда, экономию дорогостоящих и дефицитных штамповых сталей, энергетических и трудовых ресурсов, определяющих себестоимость выпускаемой продукции, к которым относится диссертация Рабыко М.А., являются актуальными и востребованными.

**Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту.** В заключении диссертации и по-

вх. № 11-52/116  
от 12.01.2024

ложениях, выносимых на защиту, представлены следующие результаты, являющиеся новыми.

1. Установлено влияние технологических параметров упрочнения тлеющим разрядом как с использованием прикатодного магнитного поля, так и без него на поверхностную микротвердость и износостойкость рабочих поверхностей деформирующих элементов штампов из инструментальных легированных сталей.

2. Установлено влияние технологических параметров упрочнения тлеющим разрядом как с использованием прикатодного магнитного поля, так и без него на глубину упрочненного слоя, структуру и фазовый состав поверхностного слоя упрочняемых деформирующих элементов штампов из инструментальных легированных сталей.

Техническая новизна разработок подтверждена полученными патентами на изобретение и полезную модель Республики Беларусь.

**Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы и достоверны. Их обоснованность аргументирована тем, что теоретические исследования упрочнения тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем проводились с использованием результатов анализа современных процессов повышения эксплуатационных характеристик и методов упрочнения, а экспериментальных исследований с использованием проверенных практикой методик исследований и методов обработки экспериментальных данных.

Достоверность заключительных выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается тем, что полученные теоретические результаты согласуются с полученными экспериментальными данными. Результаты диссертации апробированы на научно-технических конференциях, достаточно полно опубликованы автором в статьях в рецензируемых научных изданиях и материалах конференций. Ссылки на собственные публикации даны во всех пунктах заключительных выводов.

Таким образом, выводы и рекомендации по диссертационной работе можно считать обоснованными и достоверными.

**Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию.** Научная значимость результатов исследований заключается в:

– обосновании и экспериментальном подтверждении возможности реализации технологии упрочнения деформирующих элементов штампов из инструментальных легированных (штамповых) сталей, путем обработки изделий тлеющим разрядом при котором изделия размещают на катоде, расположенном в силовых линиях постоянного магнитного поля, и обрабатывают поверхности изделий плазмой тлеющего разряда, возбужденного в вакууме, с разрежением 1,33–53,2 Па при напряжении 0,1–10 кВ, плотности тока между анодом и катодом



0,005–0,010 мА/см<sup>2</sup>, расстоянии между анодом и катодом 0,1–1,0 м, в течение 10–30 мин, при этом используют катод площадью в 5–150 раз больше площади анода.

– установлении влияния технологических параметров процесса упрочнения на физико-механические свойства поверхностей штамповых сталей, в частности, в том, что упрочнение тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем с индукцией от 0,04 до 0,06 Тл позволяет повысить поверхностную микротвердость образцов из стали 5Х3В3МФС на 25–30 %, образцов из стали Х12МФ на 17–20 % и образцов из стали 4Х4ВМФС на 17–19 %, что превышает значения, полученные обработкой только тлеющим разрядом, для стали 5Х3В3МФС в 1,78 раза, стали Х12МФ в 1,28 раза и стали 4Х4ВМФС в 1,05 раза, соответственно.

– установлении зависимостей стойкости штамповой оснастки от технологических параметров процесса упрочнения на основании которых получено, что упрочнение тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем с индукцией от 0,04 до 0,06 Тл позволяет повысить износостойкость образцов из стали 5Х3В3МФС в 2 раза, образцов из стали Х12МФ в 2,1 раза и образцов из стали 4Х4ВМФС в 2,3 раза, что превышает значения, полученные обработкой только тлеющим разрядом, для стали 5Х3В3МФС в 1,42 раза, стали Х12МФ в 1,31 раза и стали 4Х4ВМФС в 1,35 раза соответственно.

– установлении влияния технологических параметров процесса упрочнения тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем на структурные и фазовые превращения в поверхностных слоях штамповых сталей, позволившее выявить причины улучшения поверхностных свойств штамповых сталей в процессе поверхностной обработки

– *Практическая значимость* состоит в том, что результаты исследований послужили основой для разработки технологии упрочнения упрочнения тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем, которая может быть реально использована на предприятиях реального сектора экономики. Результаты диссертации апробированы на таких предприятиях, как ОАО «Могилевский завод «Строммашина» (г. Могилев), ООО «ЗнакОМ» (г. Могилев), МАОА «Красный металлист» (г. Могилев), ОАО «ТАиМ» (г. Бобруйск), ОАО «Могилевлифтмаш» (г. Могилев). При выполнении хозяйственной работы с ОАО «ТАиМ» (г. Бобруйск) по теме «Структурно-фазовое модифицирование поверхностных слоев материалов инструментальной и технологической оснастки тлеющим разрядом» (ХД № 1931/488/19).

*Экономическая значимость* работы заключается в обеспечении экономии дорогостоящих и дефицитных инструментальных материалов, энергии и трудовых ресурсов; в получении экономического эффекта на ОАО «ТАиМ» в размере 4 849,19 руб. в ценах на 2019 г (г. Бобруйск).

*Социальная значимость* обусловлена использованием результатов диссертационной работы в образовательном процессе и повышением качества подготовки студентов.

**Опубликование результатов диссертации в научной печати.** Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 36 научных работах, написанных единолично и в соавторстве, в том числе 2 монографии, 6 статей в научных изданиях, соответствующих перечню ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований и в иностранных научных изданиях, 11 статей в сборниках материалов научных конференций, 15 тезисов докладов в сборниках материалов научных конференций. Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 11,48 авторского листа

Получен 1 патент на полезную модель и 1 патент на изобретение Республики Беларусь.

Опубликованные работы в полной мере отражают основные положения диссертации.

Требования ВАК Республики Беларусь по опубликованности результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата наук выполнены.

**Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников (317 наименований, из них 93 на иностранном языке), списка публикаций соискателя ученой степени (36 наименований, из них 1 на иностранном языке) и двадцати двух приложений. Работа изложена на 238 страницах машинописного текста, включает 104 рисунка, 31 таблицу. Приложения приведены на 72 страницах.

Оформление диссертации соответствует требованиям Инструкции 10 оформлению диссертации и автореферата (утв. Постановлением Президиума ВАК Беларуси № 3 от 28.02.2014 (в редакции постановления ВАК Республики Беларусь № 5 от 22.08.2022)).

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

**Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует.** Представленная диссертационная работа и уровень подготовки соискателя позволяют сделать вывод о том, что Рабыко Марина Александровна по своей научной квалификации соответствует ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

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

1. Для создания магнитного поля в прикатодном пространстве использована катушка тороидальной формы, которая формирует симметричное распределение магнитного поля. Это обеспечивает получение полностью предсказуемых результатов на заготовках, например, цилиндрической формы. Было бы целесообразно оценить, на сколько искажается магнитное поле при обработке тлеющим разрядом ассиметричных изделий, и как этот эффект будет влиять на равномерность упрочнения по поверхности заготовки.

2. В работе утверждается, что одной из причин упрочняющего воздействия тлеющего разряда является пересыщение твердого раствора, о чем автор судит на основании изменения параметров кристаллической решетки. Следует иметь в виду, что изменение параметров решетки может происходить также за счет остаточных напряжений, что необходимо учитывать при анализе структурного состояния.

3. Ряд полученных автором диссертационной работы зависимостей носит экстремальный характер. Хотелось бы, чтобы в работе присутствовало хотя бы предположительное физическое объяснение причин возникновения максимумов и минимумов на полученных кривых.

4. В работе желательно было бы привести технико-экономические показатели разработанной технологии упрочнения деформирующих элементов штампов тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем, например, себестоимости обработки для единичных деталей и для серийного производства, что позволило бы обосновано оценивать область применения данной технологии.

5. Описание статистической обработки результатов экспериментов по методу планирования следовало бы привести в приложении, а в тексте оставить только таблицу исходных данных и полученные эмпирические зависимости.

Отмеченные замечания не затрагивают основных положений диссертационной работы и не повлияли на выводы и полученные результаты.

### **Заключение**

Диссертационная работа Рабыко М. А. имеет внутреннюю логику, носит законченный характер и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Соискатель Рабыко Марина Александровна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки за развитие актуального научного направления, заключающееся в разработке технологии упрочнения деформирующих элементов штампов тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем, **включающее полученные новые результаты:**

- обоснование и экспериментальное подтверждение возможности реализации технологии поверхностного упрочнения тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем, при котором изделия размещают на катоде, расположенном в силовых линиях постоянного магнитного поля, и обрабатывают поверхности изделий плазмой тлеющего разряда, возбужденного в вакууме, с разрежением 1,33–53,2 Па при напряжении 0,1–10 кВ, плотности тока между анодом и катодом 0,005–0,010 мА/см<sup>2</sup>, расстоянии между анодом и катодом 0,1–1,0 м, в течение 10–30 мин, при этом используют катод площадью в 5–150 раз больше площади анода;



- установленные зависимости микротвердости поверхностных слоев и износостойкости изделий штамповой оснастки из инструментальных легированных сталей (X12МФ, 4Х4ВМФС, 5Х3В3МФС), от технологических параметров упрочнения тлеющим разрядом как с использованием прикатодного магнитного поля, так и без него (напряжение, сила тока, время обработки) позволившие установить значимое влияние прикатодного магнитного поля на эффективность упрочнения;

- установленное влияние технологических параметров упрочнения тлеющим разрядом как с использованием прикатодного магнитного поля, так и без него (напряжение, сила тока, время обработки) на структуру, фазовый состав инструментальных легированных сталей (X12МФ, 4Х4ВМФС, 5Х3В3МФС), что позволило установить в качестве факторов, обеспечивающих повышение стойкости штамповой оснастки, изменения структурно-фазового состояния, протекание полиморфного превращения в матричной фазе, изменение размеров карбидной фазы;

- установленное влияние упрочнение тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем деформирующих элементов штампов на увеличение стойкости деформирующих элементов штампов как для горячей штамповки так и для холодной штамповки, что послужило основанием для разработки и внедрения в промышленность и образовательный процесс технологии упрочнения деформирующих элементов штампов тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем;


что в совокупности *позволило* Рабыко М.А. разработать технологию упрочнения деформирующих элементов штампов тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем обеспечивающую повышение износостойкости их поверхностей до 4,5 раза.

Официальный оппонент,  
профессор кафедры «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета,  
д-р техн. наук, профессор

 О. Г. Девойно



Отзыв получен в совет  
12.01.24  
Устный секретарь совета  
Девойно О.Г.

С отзывом ознакомлена  
12.01.24  Рабыко М.А.