

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Вегера Ивана Ивановича

«Концептуальное развитие технологии и создание оборудования скоростного термического упрочнения деталей машин»,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Автореферат диссертации Вегера И.И. посвящен решению актуальной научно-технической проблемы – разработке методологии и оборудования для скоростной термической обработки деталей машиностроения с использованием индукционного, лазерного и электронно-лучевого нагрева. В условиях жесткой конкуренции и необходимости повышения ресурса изделий создание технологий, позволяющих формировать функционально-градиентные упрочненные слои с заданным распределением свойств, является крайне востребованным. Работа выполнена в рамках крупных государственных программ Республики Беларусь и имеет выраженную практическую направленность, что подтверждается широким внедрением результатов на ведущих предприятиях.

В диссертационной работе автором выполнены обширные экспериментальные исследования влияния скоростного нагрева и охлаждения на фазовые и структурные превращения в широкой номенклатуре сталей (от низкоуглеродистых до высоколегированных) и титановых сплавов. На основе полученных закономерностей предложены оптимизированные режимы термообработки, позволяющие повысить прочность, пластичность и ударную вязкость. Особого внимания заслуживает разработка комбинированных методов, сочетающих индукционную закалку с последующим лазерным или электронно-лучевым модифицированием, что позволяет создавать многослойные градиентные структуры с высокой твердостью и износостойкостью.

Важным результатом является создание новой концепции проектирования технологических процессов, включающей этапы от расчета требуемых свойств детали до компьютерного моделирования электромагнитных и температурных полей и выбора оптимальных параметров оборудования. Автором разработаны оригинальные алгоритмы расчета усталостной выносливости деталей с многослойной упрочненной структурой, что значительно повышает точность прогнозирования ресурса изделий. На основе предложенных подходов спроектирован и внедрен в серийное производство модельный ряд индукционных установок с модульной архитектурой и современными системами управления, что подтверждает высокую практическую значимость работы.

К достоинствам работы следует отнести:

- Комплексный подход к исследованию, охватывающий широкий класс материалов и режимов обработки;
- Создание полноценной базы данных по режимам скоростной термообработки для различных групп сталей;

Поступил в совет 29.06.2026
Уч. секрет. совета
Алексеев В.К.



- Разработку верифицированных компьютерных моделей для проектирования индукционных систем;
- Успешное промышленное внедрение, подтвержденное экономическими показателями.

Вместе с тем, возникает ряд замечаний и вопросов, касающихся прежде всего электротехнологических аспектов и теоретической обоснованности некоторых решений:

- В работе предложены шесть фиксированных частотных диапазонов для индукционных преобразователей (от 1–2,4 кГц до 50–100 кГц) и модульный принцип наращивания мощности с шагом 40–50 кВт. Однако в автореферате не приведено строгого физического обоснования выбора именно этих частотных границ и величины дискретности по мощности. Не ясно, учитывался ли при этом скин-эффект для различных материалов (стали, титановые сплавы) и геометрических форм деталей (например, для внутренних отверстий малого диаметра). Обоснование этих параметров, критически влияющих на эффективность нагрева, было бы желательно подкрепить расчетами глубины проникновения тока и коэффициента полезного действия для каждого диапазона. А также в качестве силовых элементов для создания преобразователей выбраны полупроводниковые транзисторные IGBT-модули, при этом известно, что IGBT модули имеют достаточно длинный фронт выключения, что накладывает существенные ограничения при разработке высокочастотных источников питания, по этой причине требуется обоснование использования IGBT модулей для источников питания, работающих на частотах близких к 100кГц, где в классическом подходе проектирования используются MOSFET.
- При моделировании электромагнитных и температурных полей (глава 5) автор использует программу Universal 2D и метод конечных элементов. В тексте автореферата, однако, отсутствуют данные о верификации моделей – сравнение расчётных температурных полей с экспериментальными термограммами или результатами измерения твердости по глубине упрочненного слоя. Без такой верификации сложно судить о достоверности моделей при их использовании для проектирования режимов термообработки новых деталей.
- В диссертации исследуется влияние скорости охлаждения на структуру и свойства сталей, основное внимание уделено охлаждению в воде и в масле. Для многих практических задач, особенно для деталей с высокими требованиями к минимальным деформациям или особыми требованиями к структуре, более предпочтительным является использование комбинированного охлаждения (например, водо-воздушного душа с циклической подачей или полимерные среды в замен масла). В автореферате такие варианты упоминаются, но не приведены систематические исследования влияния управляемой скорости охлаждения на градиент свойств и остаточные напряжения. Это ограничивает полноту концепции, заявленной как «сквозное проектирование».
- В положениях, выносимых на защиту, и в выводах приводятся конкретные числовые значения механических свойств (предел прочности, ударная вязкость и др.) с точностью до одного-двух знаков. Однако не указано какие были использованы образцы, а также особенности подготовки образцов и экспериментов. А также не указаны погрешности измерений и методы статистической обработки экспериментальных данных (указано только оборудование, на котором проводились исследования). Отсутствие этой информации не позволяет объективно оценить

воспроизводимость и достоверность полученных результатов, особенно при сравнении различных режимов обработки.

- В разделе, посвященном комбинированным технологиям, описывается последовательное применение индукционной закалки и последующего лазерного модифицирования. Однако не обсуждается возможное негативное влияние лазерного нагрева на ранее сформированную мартенситную структуру (например, отпуск или частичная перекристаллизация). Было бы полезно уточнить, каким образом выбираются режимы лазерной обработки, чтобы избежать снижения твердости подповерхностных слоев.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы, а скорее указывают на направления дальнейших исследований и уточнения некоторых аспектов.

В целом, автореферат Вегеры И.И. представляет собой завершенное значимое исследование, в котором решена крупная научно-техническая проблема развития технологий и оборудования скоростного термического упрочнения. Работа выполнена на высоком экспериментальном уровне, содержит новые научные результаты и имеет важное значение для машиностроительной отрасли.

Кандидат технических наук, директор центра индукционных технологий и новых материалов им. В.П. Вологодина, доцент кафедры Электротехнологической и преобразовательной техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

 / Перевалов Юрий Юрьевич /
«25» 06 2026 г.
ПОДПИСЬ
НАЧ. ОК «25» 06
ЗАВЕРЯЮ
М. В. СОКОЛОВА
2026