

В объединенный диссертационный совет 99.2.001.02 на базе ФГБОУ ВО «УлГТУ», 432027, ГСП, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32 и ФГБОУ ВО «ТГУ», 445667, ГСП, г. Тольятти, ул. Белорусская, д. 14

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Подкругляк Любови Юрьевны «Повышение быстроходности шпиндельного узла на основе моделирования его теплового состояния», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Самарский государственный технический университет". Полный объём диссертации изложен на 131 странице, содержит 68 рисунков и 30 таблиц, Работа состоит из введения, 5 глав, выводов, списка использованной источников из 204-х наименований и 4-х приложений на 5-ти страницах.

Актуальность темы диссертационной работы

Тенденции повышения производительности, точности, надежности, гибкости, экономичности и эффективности как производственного и технологического оборудования, так и систем машин, создание производств с всё меньшим участием человека, потребность в разработка перестраиваемых и переналаживаемых производств на базе оборудования с переменной структурой, с широким спектром технологических методов воздействия на объект производства требуют разработки новых системных методов анализа

для реализации указанных задач и создания новых конструкций, в полном объёме реализующих различные физические процессы.

Это вызывает необходимость более глубокого и всестороннего структурного и системного описания и анализа элементов системы, их связей и отношений, взаимодействия между элементами системы и окружающими системами и их элементами, состояний и свойств, а также физических процессов и явлений, протекающих при воздействии на систему и внутри неё. В последние годы в обрабатывающей промышленности возросли требования к точности, прецизионности и повышению производительности станков и обрабатываемых на них деталей. Так, для металлорежущих станков нормальной и повышенной точности достижимая точность обработки в настоящее время находится в диапазоне $1 \div 5$ мкм и, если указанная тенденция сохранится, то в ближайшие $10 \div 15$ лет может быть достигнут стабильный диапазон точностей в пределах $0,1 \div 1$ мкм, что естественно потребует значительных усилий по исследованию процессов и механизмов достижения и обеспечения точности во всем спектре проблем - от проектирования и производства станков до систем управления их поведением (управления параметрами точности) в период их эксплуатации при обработке изделий.

К настоящему времени (за период с 1950 гг. по н.в.) исследователями выполнен большой комплекс работ по изучению тепловых процессов и эффектов, происходящих в металлорежущих станках при их функционировании. Проведенные исследования показателей и характеристик точности и производительности станков дают основания считать, что в балансе точности станков доля температурных погрешностей в период 1950 – 2020 гг. изменилась с 20-30% до 70% [1,2] и это определяется абсолютной величиной достижимой точности станка. Это следует из анализа энергетических требований (энергетический барьер точности), которые необходимы и обуславливают возможность достижения того или иного уровня точности и производительности обработки.

В период 1980 -2020гг. сформировались виды и формы методов коррекции и компенсации теплового поведения формообразующих элементов станков, которые основаны на непосредственных прямых методах измерения температурных погрешностей; косвенных методах по измеренной температуре; по тепловой модели и расчету по построенной или выбранной математической модели на основе теплофизической или термоупругой модели станка. Анализ конструктивно-компоновочных решений современных металлорежущих станков показал, что в тепловой модели станка шпиндельный узел и шарико - винтовые системы движений рабочих органов станка являются основными и доминирующими источниками их тепловой нестабильности.

В качестве математических методов описания тепловых моделей чаще всего применялись методы расчетно-экспериментальные, стационарной теплопроводности, МКЭ, а нестационарные процессы или не описывались или определялись по простейшим моделям теплового баланса без всего реального многообразия граничных условий при определении температур.

Развитие технологий высокоскоростного (HSC) и высокопроизводительного (HPC) резания обусловило необходимость проведения как их фундаментальных исследований, так и различных исследований реальных процессов, которые оценивали влияние различных параметров скорость, глубина, подача, свойства обрабатываемого материала, свойства станка и т.п. на характеристики процесса HSC, HPC такие как мощность, энергия, температура, силы, скорость, вибрации и др.

Следовательно, повышение быстроходности шпиндельных узлов современных металлорежущих станков связано с объективной необходимостью роста производительности обработки. Но вместе с быстроходностью растут и тепловые деформации за счет увеличения температуры шпиндельных узлов. Тепловые потоки и граничные тепловые связи в узлах станков имеют сложный характер, а их количественная оценка имеет первостепенное значение для инженерной практики и во многих

случаях моделирования не имеют достаточно достоверных и объективно обусловленных значений. Особую значимость, а так же сложность их оценки имеют тепловые контактные условия соприкасающихся деталей станка и контактное термическое сопротивление деталей теплонапряженных узлов, например, шпиндельных. Таким образом управление тепловыми потоками в особо точных узлах станков, с учетом контактного термического сопротивления на основе научно обоснованных теплофизических конструкторско-технологических мероприятий на стадии проектирования и модернизации для цели повышения их быстроходности является важной задачей.

Поэтому, исходя из вышесказанного, тема диссертационной работы Подкругляк Любови Юрьевны, направленной на повышение быстроходности шпиндельного узла на основе использования тепловой модели, учитывающей макро - и микроотклонения контактирующих поверхностей, является актуальность в области станко – и машиностроения и не вызывает сомнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Выбранный диссертантом путь проведения исследований решает поставленные задачи с достаточной полнотой.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается корректным использованием теоретических, расчетных и экспериментальных методов исследования.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, следует также из анализа содержания научно-квалификационного труда.

Рецензируемая диссертация Подкругляк Любови Юрьевны состоит из Введения (с.4...7) и пяти глав:

Глава 1 «Обеспечение теплостойкости шпиндельных узлов при проектировании и изготовлении. Цель и задачи исследования» (с.8...33) состоит из 4-х разделов, в которых анализируется состояние исследований по теме работы, на основании которого сделаны выводы о проблемах и нерешенных вопросах задач повышения быстроходности шпиндельных узлов на основе моделирования их теплового поведения, как ограничивающего фактора;

Глава 2 «Моделирование тепловой проводимости станочных соединений с учетом фактической площади контакта» (с.34...58) состоит из 3-х разделов (и выводов), в которых даётся предлагаемое автором научное обоснование и метод решения на основе модели термического псевдослоя для определения значений контактного температурного сопротивления деталей при тепловых воздействиях и факторов, которые обуславливают это контактное термическое сопротивление;

Глава 3 «Экспериментальная оценка влияния конструкторско-технологических факторов на КТС плоского стыка» (с.60...73) состоит из 4-х разделов (и выводов) в которых в логической последовательности приведены результаты, проведённых на стенде ,экспериментальной оценки влияния конструкторско-технологических факторов на контактное термическое сопротивление плоского стыка и численного моделирования методом конечных элементов прохождения теплового потока через плоский стык;

Глава 4 «Разработка инженерной методики теплового моделирования с использованием крупноблочных конечных элементов» (с.74...88) на основе конечно элементного моделирования с крупноблочными конечными элементами в виде прямоугольных параллелепипедов, что для инженерных приложений даёт хороший результат не только по точности расчетов, но при этом ещё и упрощает требования к программным средствам и инструментам;

Глава 5 «Конструкторско-технологические решения повышения быстроходности шпиндельных узлов по температурному критерию» (с.89...108) посвящена реализации отдельных решений, которые исходят и

базируются на предложенном методе рассмотрения степени влияния конструктивно –технологических фактов и выборе направлений, которые позволили повысить в достижимых пределах быстроходность шпиндельного узла по величине нагрева, а также приведены результаты моделирования в программной MATCAD среде до и после применения таких решений для шпиндельного узла станка мод. 2440СФ4;

Общие выводы по работе (с.109...110) состоят из 7 наименований и содержат основные выводы по результатам исследований;

Список использованных источников (с.111...126) включает 204 источника из которых 177 это работы отечественных исследователей, а 27 работы иностранных авторов, причем диапазон и глубина соответствует периоду с 1962 по 2022гг., что говорит о достоверности и знании проблемы;

Приложений (с.127...131) соответствуют ссылкам по тексту изложения диссертации и требуемым материалам внедрений на станкостроительном заводе «Стан – Самара» и в учебном процессе ФГБОУ ВО СамГТУ.

Названия и объем основных разделов диссертации свидетельствуют о научной глубине проведенной соискателем работе как в теоретической, так и экспериментальной области исследований.

Обоснованность и достоверность научных положений выводов и рекомендаций

Выдвинутые автором научные положения и выводы достаточно обоснованы и базируются на использовании известных положений современной науки, фундаментальных положениях технологии машиностроения, теории трения и износа машин, топологии поверхностей деталей машин, положений методов расчёта и проектирования станков, деталей и шпиндельных узлов, теории математического моделирования, численных и аналитических методов, методов математической статистики.

Достоверность результатов, представленных в диссертации, обеспечивается адекватностью исходных положений, реализацией поставленных в диссертации цели и задач исследования, сопоставлением и

согласованием теоретических и расчетных данных с результатами экспериментов, а экспериментальные исследования выполнены корректно с использованием соответствующих современных средств измерения и контроля, исследуемых величин. Широкое использование в экспериментальных исследованиях теории планирования экспериментов и обработка результатов методами математической статистики являются основанием для вывода о достаточной степени достоверности полученных результатов.

Полученные автором работы результаты не противоречат данным ранее проведенных исследований.

Научная новизна диссертационной работы

Значимыми результатами и научной новизной диссертационной работы Подкругляк Любови Юрьевны является:

- разработка и обоснование модели теплопроводности соединений деталей на основе использования введенного понятия «псевдослоя» и обоснования выбора его параметров и характеристик, которые адекватно учитывают состояние и условия контактирующих поверхностей деталей;
- эмпирические зависимости изменения температуры в зоне контакта от толщины псевдослоя и номинального давления в контакте;
- обоснование значимости конструкторско-технологических факторов и степени их влияния на контактные термические сопротивления.

Это в совокупности является научной базой для установления закономерностей формирования температурных полей шпиндельных узлов, в том числе и при наличии нескольких источников тепловыделения, что позволило достичь цели, сформулированной в работе.

Сказанное позволяет считать, что диссертация выполнена на высоком научном уровне.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании, принципа построения и математическом анализе модели контактной теплопроводности соединений деталей металлорежущих станков на основе понятия «псевдослоя», характеристики которого учитывают макро- и микроотклонения контактирующих поверхностей, а также в выявлении степени влияния конструкторско-технологических факторов на контактное термическое сопротивление.

Очевидный практический интерес представляет разработанная инженерная методика определения теплового состояния шпиндельных узлов на основе крупноблочных конечных элементов

Полученная регрессионная зависимость для определения контактного термического сопротивления позволяет оценивать его и применять на практике при проектировании путем обоснованного задания основных проектных параметров.

Практическую ценность также представляют конструкторско-технологические решения, позволяющие существенно повысить быстроходность шпиндельного узла станка модели 2440 и их аналогов..

Практическая значимость полученных в работе результатов подтверждается актами внедрения на ЗАО «Стан-Самара» (г. Самара) и в учебном процессе ФГБОУ ВО СамГТУ.

Таким образом, представленные в диссертационной работе материалы достаточно свидетельствуют о практической значимости проведенных исследований и возможности использования их результатов в инженерной практике.

Публикации и апробация работы

Основные результаты диссертационной работы изложены и опубликованы в 14 работах, в том числе 4 научные статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, 3 статьи в изданиях, индексируемых в

международных базах данных и 7 статей в других изданиях и материалах конференций. Диссертация прошла апробация на 7 международных и всероссийских конференциях, тематика которых совпадает с основными направлениями исследований соискателя.

Приведенные в библиографическом списке работы автора, а также перечень научно-технических конференций, на которых докладывались и обсуждались основные результаты, дают основание считать, что диссертационная работа Подкругляк Любови Юрьевны прошла достаточную апробацию.

Автореферат в полном объеме отражает содержание диссертационной работы и позволяет ознакомиться со всеми основными результатами, полученными автором, а также выводами и рекомендациями, вытекающими из проведенных исследований.

Оформление материалов диссертации

Работа написана, в основном, технически грамотным языком, хотя иногда встречаются трудно воспринимаемые предложения. Автор, в основном, грамотно и обосновано применяет принятую терминологию. Тексты автореферата и диссертации оформлены в соответствии с рекомендациями стандарта ГОСТ Р 7.0.11-2011 и рекомендациями ВАК Минобрнауки РФ.

Диссертация имеет целостную структуру и единый стиль изложения материала. Логика изложения и аргументация позволила всесторонне раскрыть как рассматриваемые задачи, так целостно изложить решение научной и технической проблемы. Диссертация снабжена достаточным и необходимым количеством иллюстративного материала, ссылками на авторов и источники, откуда заимствованы отдельные результаты, корректны и соответствуют современному состоянию вопроса. Рисунки выполнены, как правило, качественно и читабельно. Выдвинутые автором научные положения и выводы достаточно обоснованы с использованием известных современных положений науки и инженерной практики, позволяют оценить результативность выполненных исследований, а представленные

экспериментальные исследования выполнены корректно с использованием соответствующих современных средств измерения и контроля, исследуемых величин. Общие выводы по работе включают 7 пунктов, являются достоверными и базируются на материалах исследований, представленных в диссертационной работе. Материалы приложений содержат необходимую информацию и документацию.

Соответствие паспорту научной специальности

Содержание, выполненных исследований, соответствуют паспорту научной специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)»: направление исследований №1 «Теория и практика проектирования, монтажа и эксплуатации станков, станочных систем, в том числе автоматизированных цехов и заводов, автоматических линий, а также их компонентов (приспособлений, гидравлических узлов и т.д.), оптимизация компоновки, состава комплектующего оборудования и его параметров, включая использование современных методов информационных технологий» и направление исследований №5 «Создание, включая исследования, проектирование, расчеты, комплектующих агрегатов и механизмов, обеспечивающих достижение требуемых технологических и технико-экономических параметров оборудования».

Недостатки и замечания по диссертационной работе

Учитывая всё вышесказанное, необходимо отметить и ряд замечаний по материалу рассматриваемой работы:

1. При рассмотрении и анализе состояния вопроса (глава 1) недостаточно внимания уделено тенденциям развития конструктивного совершенства шпиндельных узлов и особенно применению новых материалов, например углепластиков, применение которых также имеет целью повышение быстроходности, а также особенностям шпиндельных узлов для высоко- и сверхскоростной обработки.
2. При планировании эксперимента (глава 2) с целью получения регрессионной зависимости снижения температуры в зоне плоского стыка

не обосновано принятие допущения о значении толщины «псевдослоя», зависящим только от параметра шероховатости Ra ?

3. Не ясно какая необходимость (глава 2) в проведения исследований и моделировании методом конечных элементов экспериментальной установки для этих же целей совместно, а также аналогичные вопросы о моделировании в среде ELCUT.
4. В тексте диссертации необходимо было бы разместить фотографии реального стенда, на котором проводились экспериментальные исследования. Кроме этого далеко не все рисунки читабельны и информативны, например, рис.2.3, 2.7,2,9, 3.2, 3.5, 3.8 и др., имеются одинаковые обозначения разных величин т.е. q и тепловой поток и удельное давление.
5. В работе не указано, какая смазка используется в шпиндельном узле станка 24К40СФ4 и как вид смазки может быть учтен или учитывается в предлагаемой методике.
6. В главе 5 на стр. 104 указано «температуры наружных колец подшипников при температуре окружающей среды 20°C , рассчитанные по представленной в разделе 5.1.2 плоскоступенчатой модели», хотя на стр. 96 рис. 5.6 данного раздела указано, что модель плоская. Непонятно, какая на самом деле модель должна применяться для расчетов?
7. В диссертации в первой задаче используется понятие «существенные факторы», а в тексте автореферата «основные факторы». Какое понятие верное?

В целом приведенные замечания не снижают научной новизны, практической ценности полученных результатов и общей положительной оценки диссертационной работы.

Общая характеристика диссертационной работы

1. Диссертационная работа Подкругляк Л.Ю. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором

исследований изложены научно-обоснованные конструкторско-технологические решения по повышению быстроходности шпиндельных узлов МРС, имеющие существенное значение для развития станкостроения. Тем самым можно констатировать, что диссертация соответствует критериям пункта 9 раздела II Положения о порядке присуждения ученых степеней.

2. Тема, цель, задачи и содержание диссертации соответствуют заявленной специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

3. Работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне. Методики и средства выполненных исследований соответствуют решаемым соискателем задачам, результаты теоретических исследований и натуральных экспериментов, выполненных соискателем, достоверны и достаточны для обоснования сделанных выводов.

4. Диссертация имеет практическую ценность, так как полученные соискателем результаты позволяют повысить быстроходность ШУ. Использование результатов работы, представленных в виде инженерной методики и конструкторско-технологических рекомендаций, имеет хорошую перспективу.

5. Степень апробации результатов работы достаточна. Общая подготовленность и научный потенциал соискателя отвечают требованиям, предъявляемым к соискателям ученой степени кандидата технических наук.

6. Научные выводы и практические результаты отражают в полном объеме основные результаты работы, полученные в ходе диссертационного исследования.

7. Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертационной работы и позволяет оценить основные результаты, полученные лично соискателем, а также выводы и рекомендации, вытекающие из проведенных исследований.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным
Положением о присуждении ученых степеней**

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Подкругляк Л.Ю. по актуальности, научно-техническому уровню, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики. По личному вкладу соискателя диссертация Подкругляк Л.Ю. соответствует требованиям п.п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор, Подкругляк Любовь Юрьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).

Официальный оппонент:

Советник генерального директора ООО «КЕВ-РУС»,

Доктор технических наук



Кузнецов Александр Павлович

«05» декабря 2023 года

Общество с ограниченной ответственностью «КЕВ-РУС»

Адрес: 140090, Московская область, г. о. Дзержинский, г. Дзержинский,
ул. Лесная, д. 30, этаж 4, помещ. 413, 414, 415

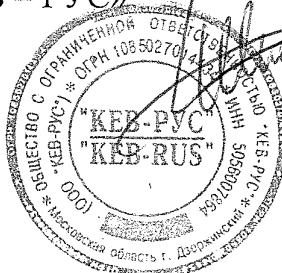
Телефон: 8-495-632-02-17

E-mail: <http://keb.ru>

Подпись доктора технических наук, А.П. Кузнецова заверяю:

Генеральный директор ООО «КЕВ – РУС»

«05» декабря 2023 года



Д.В.Щавлев