

Утверждаю
Ректор ФГБОУ ВО «Иркутский
национальный исследовательский
технический университет»
доктор технических наук, доцент
М.В. Корняков



3 » 09 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Иркутский национальный исследовательский
технический университет»**

Диссертация Минаева Николая Владимировича на тему «Совершенствование технологии формообразования оребренных панелей раскаткой роликами и дробеударной обработкой» выполнена на кафедре «Технология и оборудование машиностроительных производств» (ТОМП).

В 2011 году соискатель ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет» по специальности «Мехатроника» и получил диплома инженера.

В 2015 году окончил очную аспирантуру ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет» по специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения».

Научный руководитель – **Пашков Андрей Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор, директор института авиамашиностроения и транспорта ФГБОУ ВО «ИРНИТУ».

На заседании кафедры присутствовали:

1. Пашков А. Е., д.т.н., профессор, зав. кафедрой;
2. Каргапольцев С. К., д.т.н., профессор;
3. Кольцов В. П., д.т.н., профессор;
4. Свинин В. М., д.т.н., профессор;
5. Пономарев Б. Б., д.т.н., профессор;
6. Беломестных А. С., к.т.н., доцент;
7. Дияк А. Ю., к.т.н., доцент;
8. Зарак Т. В., к.т.н., доцент;
9. Иванов Ю. Н., к.т.н., доцент;
10. Исаченко А. С., к.т.н., доцент;
11. Казимиров Д. Ю., к.т.н., доцент;
12. Ле Чи Винь, к.т.н., доцент;
13. Майзель И. Г., к.т.н., доцент;

14. Макарук А. А., к.т.н., доцент;
15. Матлыгин Г. В., к.т.н., доцент;
16. Москвитин В. Н., к.т.н., доцент;
17. Пашков, А. А., к.т.н., доцент;
18. Пярых А. С., к.т.н., доцент;
19. Родыгина А. Е., к.т.н., доцент;
20. Самойленко О.В., к.т.н., доцент;
21. Стрелков А. Б., к.т.н., доцент;
22. Чащин Н. С., к.т.н., доцент.

Приглашенные лица:

1. Димов Ю. В., д.т.н., профессор, кафедра «Конструирование и стандартизация в машиностроении»;
2. Зайдес С. А., д.т.н., профессор, кафедра «Материаловедения, сварочных и аддитивных технологий».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Представленная Минаевым Николаем Владимировичем диссертация обобщает самостоятельные исследования автора и является завершённым научным трудом, выполненным по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Актуальность темы диссертационного исследования

В таких отраслях машиностроения как в самолёто-, ракето- и судостроение широко используются обводообразующие детали типа крупногабаритных монолитно-фрезерованных панелей сложной формы с продольным оребрением (далее – панели). Использование данных деталей позволяет увеличить прочность, жесткость конечного изделия и уменьшить его массу.

Наиболее сложным является производство длинномерных панелей двойной кривизны, заготовки которых изготавливаются фрезерованием на станках с ЧПУ; затем выполняется формообразование. Формообразующие операции отличаются высокой сложностью и трудоемкостью вследствие больших габаритных размеров деталей, малой кривизны поверхности и наличия подкрепляющего набора. При этом на большинстве отечественных предприятий формообразование панелей реализуется гибкой на прессах с ручным управлением. Этот способ не обеспечивает требуемую точность формы деталей, отличается высокой трудоёмкостью и зависит от квалификации исполнителей.

В отечественной практике известно применение комбинированной технологии получения панелей, представляющей собой сочетание операций дробеударного формообразования (ДУФ) и раскатки роликами (РР) подкрепляющих рёбер. Преимущество данного способа заключается в разделении процесса на простые, легко управляемые и контролируемые операции. Операция ДУФ, реализуемая на специальных установках контактного типа, используется для получения поперечной кривизны, а РР – для образования продольной кривизны и компенсации нежелательного формоизменения детали, образующегося при дробеобработке.

По сравнению с операциями прессовой гибки процесс РР более перспективен: отличается широкими возможностями регулирования режимов обработки и последующего контроля; использование компактного мобильного оборудования позволяет обрабатывать детали любых размеров. Комбинированная технология РР–ДУФ была апробирована в опытно-промышленном производстве; при этом, в связи с отсутствием управляемого оборудования и адекватных методик расчёта технологических параметров, операция РР выполнялась методом последовательного приближения формы детали к требуемой.

Задача достижения высокой точности формы панелей с допустимыми отклонениями контура порядка 0,5 мм может быть решена путём создания специализированного оборудования для РР с числовым программным управлением (ЧПУ). Для эффективного использования данного оборудования необходима методика, которая позволит произвести расчет требуемых технологических параметров и выполнить программирование процесса РР. По существующим методикам, основанным на вычислениях с подбором эмпирических коэффициентов, это достаточно проблематично, поскольку требуется проведение большого объема опытных работ на дорогостоящих конструктивно подобных образцах.

Целью работы является совершенствование технологического сочетания раскатка роликами – дробеударное формообразование при изготовлении деталей типа монолитно-фрезерованных панелей сложной формы с продольным оребрением на основе повышения адекватности методики расчета технологических параметров за счёт применения систем инженерного анализа и использования автоматизированного оборудования.

Основные научные результаты:

1. Создана методика компенсации технологической наследственности при комбинированном формообразовании, учитывающая продольную составляющую деформации от ДУФ при расчете параметров РР.

2. Разработан метод определения режимов ДУФ на основе конечно-элементного моделирования с формированием базы данных внутренних силовых факторов процесса для различных режимов обработки.

3. Установлены закономерности взаимовлияния конструктивных элементов в виде продольных рёбер деталей при их последовательной РР и обоснована возможность расчета технологических параметров данного процесса для отдельных расчетных участков.

4. Создана верифицированная конечно-элементная модель процесса РР, позволившая исследовать основные закономерности формирования напряженно-деформированное состояние (НДС) материала детали в области воздействия роликов. Адекватность моделирования подтверждена сравнением расчётных эпюр остаточных напряжений и эпюр, полученных механическим методом (метод полосок Н.Н. Давиденкова).

5. Разработана предсказательная модель управления процессом РР на основе тарировочных зависимостей между настроечными параметрами оборудования и глубиной внедрения роликов.

6. Создан специализированный программный комплекс для автоматизации расчетов и генерации управляющих программ процесса РР, прошедший государственную регистрацию.

7. Экспериментально подтверждена универсальность методики для расчетов параметров формообразования подкрепленных панелей с различными типами ребер.

8. Разработана установка УФП-1 с ЧПУ для реализации технологии формообразования и правки подкрепленных деталей раскаткой роликами.

9. Разработаны технологические рекомендации для внедрения в производство комбинированного способа формообразования РР–ДУФ.

Конкретное личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации

Соискателем самостоятельно разработана методика расчета технологических параметров процесса формообразования панелей с продольным оребрением в последовательности РР–ДУФ, включающая:

- методику определения исходных данных для расчета продольной кривизны деталей, формируемой в процессе РР, с компенсацией технологической наследственности операции ДУФ;

- алгоритм определения режимов ДУФ расчетных участков деталей методом перебора значений внутренних силовых факторов из предварительно сформированной базы данных;

- предсказательную модель для расчета режимов процесса РР на основе тарировочных зависимостей, связывающих настроечные параметры оборудования с глубиной внедрения роликов.

Минаевым Н.В. лично выполнены:

- моделирование процессов РР и ДУФ с использованием систем нелинейного конечно-элементного анализа, позволившее выявить закономерности формирования НДС материала детали в области воздействия роликов;

- экспериментальное исследование по подтверждению адекватности разработанных методик на технологических и конструктивно-подобных образцах панелей с различными типами сечений ребер.

Автор принимал непосредственное участие в проведении НИОКТР, выполнявшихся по заказам авиастроительных предприятий, по разработке и внедрению:

- нормативно-технической документации и технологического программного обеспечения для производственного применения комбинированной технологии РР–ДУФ;

- специализированной установки УФП-1 с ЧПУ для формообразования и правки раскаткой роликами в условиях филиала ПАО «Ил» – Авиастар;

Степень достоверности исследований

В работе использовано современное, высокоточное аналитическое и измерительное оборудование и лицензионное программное обеспечение. Представленные в диссертационной работе результаты и сделанные на их основе выводы следует оценить, как достоверные.

Научная новизна работы:

1. Выявлена закономерность и предложен способ компенсации влияния технологической наследственности операции ДУФ на конечную форму детали, заключающийся в учёте продольной компоненты кривизны, возникающей вследствие обработки дробью, при определении параметров процесса РР.

2. Установлено, что методика расчета деформации детали после РР, основанная на приложении к детали эквивалентной растягивающей силы, применима при полном геометрическом подобии процессов обработки технологических образцов и реальных деталей.

3. Обнаружено взаимовлияние соседних рёбер панели при их последовательной раскатке роликами и на основе этого предложен способ членения панели на расчетные участки (РУ), представляющие собой ребро с прилегающими к нему участками полотна с шириной, равной расстоянию между соседними рёбрами или до края детали, и с длиной, определяемой из условия обеспечения требуемой точности формообразования при раскатке ребра РУ с неизменными режимами.

4. Предложена предсказательная модель, связывающая глубину внедрения роликов с регулировочными параметрами оборудования и позволяющая выполнить расчёт режимов РР панелей путём конечно-элементного моделирования процесса РР на образцах в виде РУ деталей взамен их опытной обработки.

Теоретическая и практическая значимость работы.

На основании теоретических и экспериментальных исследований создана методика расчета технологических параметров процесса формообразования деталей типа монолитно-фрезерованных панелей двойной кривизны с продольным оребрением, представляющим сочетание операций раскатки рёбер роликами и дробеударного формообразования; обеспечена возможность повышения эффективности обработки в технологическом сочетании РР–ДУФ при изготовлении панелей сложной формы за счёт применения данной методики и автоматизированного оборудования. Разработана и внедрена в производство установка с ЧПУ для формообразования и правки подкреплённых деталей раскаткой роликами.

Внедрение научных результатов.

Научные результаты использованы на предприятии машиностроительной отрасли – Ульяновском авиационном заводе – филиале ПАО «Ил» – Авиастар.

Полнота изложения диссертации в работах, опубликованных автором

Основное содержание диссертационной работы и ее результатов полностью отражено в 15 научных и научно-технических работах автора.

В изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Пашков, А. Е. Моделирование технологической последовательности раскатки роликами - дробеударное формообразование подкреплённых панелей / А. Е. Пашков, А. А. Пашков, **Н. В. Минаев** // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2025. – № 3(780). – С. 57-68

2. Методика расчета технологических параметров превентивного деформирования упрочняемых деталей типа «стенка» / А. А. Макарук, О. В. Самойленко, **Н. В. Минаев** [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 25, № 1(156). – С. 8-16.

3. **Минаев, Н. В.** Проблемы измерения остаточных напряжений на образцах конструктивно подобных элементов алюминиевых деталей после раскатки роликами / **Н. В. Минаев**, А. Г. Тихонов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 4(52). – С. 84-88.

4. Макарук, А. А. Повышение эффективности формообразования и правки маложестких подкрепленных ребрами деталей раскаткой роликами / А. А. Макарук, **Н. В. Минаев** // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 12(107). – С. 63-70.

5. Макарук, А. А. К разработке автоматизированной технологии формообразования и правки маложестких деталей раскаткой роликами / А. А. Макарук, **Н. В. Минаев** // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 3(86). – С. 45-50.

6. Макарук, А. А. Технология формообразования и правки маложестких деталей раскаткой роликами / А. А. Макарук, **Н. В. Минаев** // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 6-2. – С. 404-408.

В международных изданиях, включенных в Web of Science:

1. Pashkov, A. Y. Automation methods for forming and rectifying stiffened parts with rolling machines / A. Y. Pashkov, A. A. Makaruk, **N. V. Minaev** // International Journal of Engineering and Technology. – 2016. – Vol. 7, No. 6. – P. 2030-2037.

В прочих изданиях:

1. **Минаев, Н. В.** К созданию предсказательной модели процесса формообразования и правки подкрепленных панелей раскаткой роликами / Н. В. Минаев // Современные авиационные технологии. International Conference on Aviation Engineering : Материалы XVI международной научно-практической конференции, Иркутск, 03–07 июля 2023 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2023. – С. 15-25.

2. Повышение эффективности формообразование и правки маложестких деталей раскаткой роликами / А. А. Макарук, А. В. Богданов, Н. В. Крючкин, **Н. В. Минаев** // Наука и технологии в промышленности. – 2013. – № 1-2. – С. 101-103.

3. **Минаев, Н. В.** Формообразование подкрепленных панелей раскаткой роликами / Н. В. Минаев // Высокоэффективные технологии производства летательных аппаратов : сборник докладов, Иркутск, 10–11 апреля 2012 года / Под общей редакцией А.Ю. Дяка. – Иркутск: ИРННТУ, 2012. – С. 94-100.

4. Макарук, А. А. Технология формообразования и правки маложестких деталей методами местного пластического деформирования / А. А. Макарук, **Н. В. Минаев** // Высокоэффективные технологии проектирования, конструкторско-технологической подготовки и изготовления самолетов : Всероссийский (с международным участием) научно-практический семинар, Иркутск, 09–11 ноября 2011 года / ПАО «Корпорация «Иркут», ФГБОУ ВО «ИРННТУ». – Иркутск: ИРННТУ, 2011. – С. 117-121. – EDN VCHXFB.

Патенты и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617997 Российская Федерация. Расчет технологических параметров формообразования и правки ребристых панелей раскаткой роликами : № 2022617414 : заявл. 25.04.2022 : опубл. 27.04.2022 / А. А. Макарук, **Н. В. Минаев**, А. Е. Пашков [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «ИРНИТУ».

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611514 Российская Федерация. Программное обеспечение для автоматического определения технологических параметров при правке авиационных деталей раскаткой роликами : № 2015662180 : заявл. 14.12.2015 : опубл. 04.02.2016 / А. А. Макарук, Д. Е. Андрияшин, **Н. В. Минаев** ; заявитель ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», ПАО «Корпорация «Иркут».

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611626 Российская Федерация. Программный модуль расчета параметров раскатки ребер при формообразовании длинномерных панелей : № 2015662066 : заявл. 10.12.2015 : опубл. 08.02.2016 / Д. Е. Андрияшин, **Н. В. Минаев** ; заявитель ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», ПАО «Корпорация «Иркут».

4. Патент на полезную модель № 120909 U1 Российская Федерация, МПК В24В 39/00. Устройство для обкатывания ребер панелей : № 2011148134/02 : заявл. 28.11.2011 : опубл. 10.10.2012 / А. Е. Пашков, А. А. Лихачев, В. П. Кольцов, **Н. В. Минаев** ; заявитель ФГБОУ ВПО «ИрГТУ», ОАО «Корпорация «Иркут».

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на XVI международной научно-практической конференции, Иркутск, 03–07 июля 2023 г.; на 3-м международном форуме «Инженеры будущего – 2013» (п. Большое Голоустное, 16-28 июля 2013); на Всероссийском (с международным участием) научно-практическом семинаре, Иркутск, 09–11 ноября 2011 года.

Выводы

Диссертация Минаева Николая Владимировича «Совершенствование технологии формообразования оребренных панелей раскаткой роликами и дробеударной обработкой» является законченной научной работой, выполненной на актуальную тему. Диссертация обобщает самостоятельные исследования автора. Выдвинутые им положения представляют собой научно обоснованные технологические разработки, обеспечивающие решение важных прикладных задач. При выполнении диссертационной работы Минаев Николай Владимирович проявил себя зрелым научным работником.

На расширенном заседании кафедры «Технологии и оборудования машиностроительных производств» **приняты следующие решения:**

1. Признать, что по актуальности изученной проблемы, научной новизне, практической полезности полученных результатов работа Н.В. Минаева «Совершенствование технологии формообразования оребренных панелей раскаткой роликами и дробеударной обработкой» удовлетворяет всем требованиям, предъявленным к кандидатским диссертациям.

2. Рекомендовать к защите диссертационную работу Минаева Николая Владимировича «Совершенствование технологии формообразования оребренных панелей раскаткой роликами и дробеударной обработкой» в Диссертационном Совете Д 212.073.02 при ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения.

Результаты голосования о рекомендации Минаева Н. В. к защите в диссертационном совете 24.2.307.01.

«за» — 24 чел.;

«против» — 0 чел.;

«воздержалось» — 0 чел.;

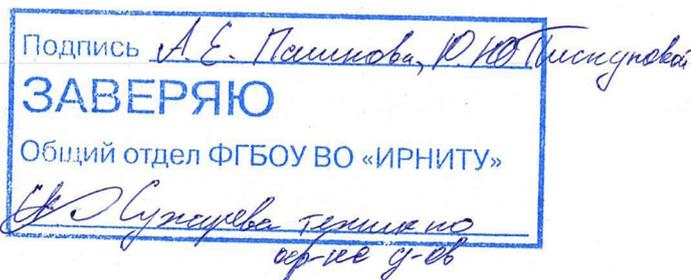
Протокол № 11 от 27.06.2025 г.

Председатель расширенного заседания
Кафедры «Технология и оборудование
машиностроительных производств»
д.т.н., профессор

Пашков А.Е.

Секретарь заседания

Пискунова Ю.Ю.



Результаты рассмотрения и рекомендации Министра Н. В. и занята в распоряжении Совета 24.2.2025 г.

Секретарь заседания
д.т.д., профессор
Караева Т.Т.

Протокол № 11 от 27.06.2025 г.

Председатель заседания
Караева Т.Т.
Министр производственных отношений

Секретарь заседания

Григорьев А.Е.

Исх. № 10.10.

Полномочный представитель
ЗАВЕЕРИО
Одним отдел ФЛБОУ ВО «НПНТУ»

Специалист по управлению персоналом 1 категории
[Signature]