

В диссертационный совет Д212.073.02

ФГБОУ ВО «Иркутский

национальный исследовательский

технический университет»

Ученому секретарю совета,

к.т.н., доценту

Вулых Н.В.

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Минаева Николая Владимировича на тему:
«Совершенствование технологии формообразования оребрѐнных панелей
раскаткой роликами и дробеударной обработкой»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Одним из важнейших направлений развития таких отраслей машиностроения, как авиа-, судо- и ракетостроение является совершенствование технологии изготовления деталей типа крупногабаритных монолитно-фрезерованных подкреплѐнных панелей. Применение данных деталей в конструкции изделий позволяют существенно улучшить их весовые и прочностные характеристики. В то же время технология формообразования таких деталей на большинстве отечественных предприятий не соответствует современным требованиям, т.к. реализуется посредством гибки на гидравлических прессах с ручным управлением, отличается высокой трудоѐмкостью и не обеспечивает достижение требуемой точности формы деталей.

Перспективным направлением развития технологии формообразования панелей с продольным оребрением является комбинированный метод,

представляющий сочетание операций раскатки рёбер роликами и дробеударной обработки наружной поверхности детали. Преимуществом метода является разделение технологического процесса на операции образования продольного и поперечного контура детали с возможностью гибкого регулирования режимов обработки на каждом этапе.

В настоящее время имеются апробированные в производстве отечественные решения по автоматизации процесса дробеударной обработки на установках контактного типа, однако операция управляемого пластического деформирования рёбер панелей раскаткой роликами требует детальной разработки.

Таким образом, представленная диссертационная работа, посвящённая комплексному решению проблемы создания научно обоснованных методик расчета технологических параметров комбинированного процесса в виде сочетания операций раскатки роликами (РР) и дробеударного формообразования (ДУФ), а также разработки специализированного оборудования с числовым программным управлением для реализации процесса РР, актуальна и практически значима для отечественной промышленности.

2. Общие сведения о диссертации

Диссертация изложена на 146 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений, содержит 23 таблицы и 102 рисунка.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, установлена степень разработанности проблемы, сформулированы цель, задачи исследования, научная новизна, практическая значимость работы и положения, выносимые на защиту.

В первой главе автор рассматривает конструктивно-технологических особенностей деталей типа подкреплённых рёбрами монолитно-фрезерованных панелей, способы их формообразования и оборудование применяемые, как в отечественной, так и в зарубежной промышленности; приводит анализ

теоретических и экспериментальных исследований, посвященных таким процессам формообразования панелей, как раскатка роликами рёбер и дробеударное формообразование. На основе приведённого анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе приведены методика и результаты конечно-элементного моделирования процесса формообразования панелей, включающего операции РР и ДУФ. Исходные данные для расчета процесса РР рёбер панели, обеспечивающего компенсацию нежелательной деформации в виде продольной кривизны контура, возникающей при ДУФ, определены моделированием процесса обработки дробью конструктивно-подобного образца (КПО) участка панели. Приведены результаты моделирования процесса РР на образцах с целью исследования напряжённно-деформированного состояния материала, формируемого на данной операции. Показано, что РР приводит к возникновению остаточных напряжений сжатия, положительно влияющих на ресурсные характеристики материала. Достоверность моделирования подтверждена определением остаточных напряжений механическим методом полосок Н.Н. Давиденкова. Установлено, что условием применения методики расчёта формоизменения деталей при РР, основанной на нагружении эквивалентной растягивающей силой, является полное геометрическое подобие между технологическим образцом и реальной деталью. Доказано, что взаимовлияние соседних рёбер при их последовательной раскатке становится существенным, если получаемые стрелы прогиба по осям рёбер различаются более чем в два раза. Таким образом обоснована возможность определения параметров процесса РР на расчётных участках, представляющих собой одно ребро с прилегающими участками полотна шириной, равными расстоянию между соседними рёбрами или до края детали.

В третьей главе приведены результаты исследования технологического процесса формообразования панелей в последовательности РР-ДУФ. Режимы процесса РР определены при помощи зависимостей между глубиной внедрения роликов и регулировочными параметрами оборудования (диаметр роликов,

давление в гидросистеме др.), а также зависимостей величин прогиба расчётных участках деталей от глубины внедрения роликов. Такой подход позволяет заменить трудоёмкий эмпирический метод, основанный на обработке и измерении КПО, вычислением параметров процесса с использованием баз данных из вышеуказанных зависимостей, получаемых конечно-элементным моделированием и обработкой образцов-пластин. Достоверность предложенной методики подтверждена экспериментальным исследованием процесса формообразования КПО панелей с рёбрами прямоугольного и Г-образного сечений в последовательности РР-ДУФ.

Четвёртая глава посвящена практической реализации результатов исследования. Описана методика расчета технологических параметров процесса РР при формообразовании панелей в последовательности РР-ДУФ с применением конечно-элементного моделирования на основе исходных данных в виде электронной модели детали, результатов моделирования процесса ДУФ, и тарировочных уравнений, связывающих глубину внедрения роликов с регулировочными параметрами оборудования. Результатами расчёта являются режимы и условия обработки (расположение роликов относительно ребра, давление в гидросистеме, длина зоны обработки), а также управляющая программа для установки с ЧПУ. Приведено описание конструктивного решения установки с ЧПУ для реализации процесса РР. Сформулированы технологические рекомендации по реализации процесса формообразования панелей в последовательности РР-ДУФ на оборудовании с ЧПУ, обеспечивающего повышение производительности и точности получаемых деталей.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Целью диссертационной работы является решение комплекса ранее не изученных вопросов по управлению напряженно-деформированным состоянием и формой деталей типа монолитно-фрезерованных панелей сложной формы с

продольным оребрением в технологическом сочетании «раскатка рёбер роликами – дробеударное формообразование».

Выдвинутые автором научные положения, выводы и рекомендации обоснованы использованием известных теоретических зависимостей теории упругости; корректностью выбранных методов исследования, допущений и ограничений; использованием при математическом моделировании хорошо апробированного метода конечных элементов; применением вычислительной техники и современного программного обеспечения; согласованием результатов расчетов с экспериментальными данными. Экспериментальные исследования были проведены в лабораторных и производственных условиях с использованием современного технологического и аналитического оборудования.

Общие выводы по работе включают девять пунктов. Все выводы достоверны и базируются на материалах исследований, представленных в диссертационной работе.

4. Научная новизна и достоверность полученных результатов

Содержание диссертации охватывает все основные вопросы поставленных в ней задач и определяющих научную новизну работы, которая заключается в разработке комплексного подхода к расчёту технологических параметров сочетания операций РР-ДУФ при изготовлении панелей с продольным оребрением. Выявлено и количественно учтено влияние технологической наследственности операции ДУФ на продольную кривизну детали и предложен способ её компенсации путём корректировки параметров обработки в процессе РР. Количественно оценено взаимовлияние соседних рёбер при их последовательной раскатке, на этой основе предложена методика членения панели на элементарные расчётные участки. Разработана расчётная модель, связывающая глубину внедрения роликов с настройками оборудования, что позволяет определять оптимальные режимы РР.

Научная новизна полученных автором результатов исследований подтверждается тем, что в диссертации:

- **выявлена** закономерность и предложен способ компенсации влияния технологической наследственности операции ДУФ на конечную форму детали путем управляемого воздействия на продольную компоненту кривизны, возникающую вследствие обработки дробью в процессе РР с расчётными режимами;

- **установлено**, что метод расчета деформации детали после РР, основанный на моделировании процесса с приложением к детали эквивалентной растягивающей силы, применим при полном геометрическом подобии процессов обработки технологических образцов и реальных деталей;

- **установлено** взаимовлияние соседних рёбер детали при их последовательной раскатке роликами и предложен способ членения детали при выполнении технологических расчётов на расчетные участки (РУ), представляющие собой ребро с прилегающими к нему участками полотна шириной, равной расстоянию между соседними рёбрами или расстоянию от ребра до края детали, и длиной, определяемой из условия обеспечения требуемых параметров точности формообразования при раскатке ребра РУ с неизменными режимами;

- **предложена** расчётная модель, связывающая глубину внедрения роликов с регулируемыми 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.

Положения, выводы и рекомендации работы обоснованы и достоверны. Материал диссертации правильно структурирован, изложен на грамотном техническом языке с использованием общепринятой терминологии.

Достоверность полученных результатов обеспечивается большим объемом данных расчётного и натурного эксперимента, полученных с привлечением современных методов исследования, как известных и принятых в рассматриваемой области науки, так и специально разработанных.

5. Замечания по работе

1. Не просматривается в явном виде решение вопросов, связанных с возможностями и ограничениями применения комбинированного технологического процесса «раскатка рёбер роликами – дробеударное формообразование».

2. Моделирование процесса формообразования участка оребрённой панели двойной кривизны выполнено на одном образце, имитирующем зону перегиба. При этом влияние смежных областей с линейчатой формой, изменение толщины полотна детали, а также таких конструктивных элементов, как местные утолщения, карманы, люки и т.д. не учитывалось, оценка этого влияния автором не проводилась. Это не позволяет оценить сходимость разработанных методик при обработке реальных деталей.

3. Недостаточно проработаны вопросы влияния на результаты формообразования собственного веса длиномерной панели, её положения и закрепления при раскатке рёбер и обработке дробью. Отсутствуют рекомендации по механизации и автоматизации вспомогательных операций процесса и операционного контроля формы детали.

4. Проведение расчётов режимных параметров процесса раскатки роликами по разработанной методике остаётся трудоёмким и предъявляет высокие требования к квалификации исполнителя.

Указанные замечания не снижают значимости теоретических и практических результатов работы, которые могут быть использованы предприятиями авиастроения, судостроения и др.

6. Заключение

Диссертационная работа Минаева Н.В. на тему: «Совершенствование технологии формообразования оребрённых панелей раскаткой роликами и дробеударной обработкой» по поставленным целям, задачам исследований и

содержанию соответствует паспорту научной специальности 2.5.6 – Технология машиностроения по пунктам:

3. Математическое моделирование технологических процессов и методов изготовления деталей и сборки изделий машиностроения.

6. Технологическая наследственность в машиностроении.

Диссертация является законченной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, содержащей теоретические и практические результаты, которые можно квалифицировать как решение актуальной для машиностроения задачи повышения производительности и качества формообразования оробрённых панелей сложной формы. В работе предложена методика расчета технологических параметров комбинированного технологического процесса, представляющего сочетание операций раскатки рёбер панели роликами и дробеударного формообразования. Практическими результатами работы является разработанная и внедрённая в производство установка с ЧПУ для формообразования и правки подкреплённых деталей методом раскатки роликами, а также рекомендации по реализации технологического процесса.

Тема диссертации актуальна, а результаты выполненных исследований обладают научной новизной и практической значимостью. Представленные в работе результаты научных исследований апробированы в производственных условиях филиала ПАО «Ил» – Авиастар и перспективны для практического использования на предприятиях авиастроения, судостроения и других предприятиях выпускающих изделия, содержащие подкреплённые панели сложной формы.

Положения, выводы и рекомендации работы обоснованы и достоверны. Материал диссертации правильно структурирован, изложен на грамотном техническом языке с использованием общепринятой терминологии. Автореферат диссертации адекватно отражает её содержание и дает возможность судить о целях и задачах исследования, научных выводах и результатах. Диссертация прошла апробацию на международных научно-технической конференции и форуме, а также на всероссийской научно-практической конференции. По материалам диссертации соискателем опубликовано 11 научных работ, том числе

7 – в ведущих научных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, одна – в издании, индексируемом в базе данных Web of Science. Получены патент на полезную модель и три свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

С учетом высказанных выше замечаний считаю, что диссертационная работа на тему «Совершенствование технологии формообразования оребренных панелей раскаткой роликами и дробеударной обработкой» по своему содержанию, объёму, актуальности, научной и практической значимости полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным в п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор Минаев Николай Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения.

Официальный оппонент,

доктор технических наук, профессор кафедры самолетостроения

ФГБОУ ВО «ВГТУ»

Максименков Владимир Иванович

«3» марта 2026 г.

Подпись оппонента Максименкова В.И. заверяю

Проректор по науке и инновациям

Башкиров А.В.

Телефон рабочий 7(473) 207-22-20 доб.6669

Адрес электронной почты: maksimenkov.v.i@mail.ru

Почтовый адрес: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84.

