

В диссертационный совет 24.2.307.01
ФГБОУ ВО «Иркутский
национальный исследовательский
технический университет»
Ученому секретарю совета,
к.т.н., доценту
Вулых Н.В.

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Фалеева Сергея Юрьевича на тему:
«Совершенствование технологии дробеударного формообразования
обводообразующих деталей на основе цифровых решений»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения

1. Общие сведения о диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка, включающего 138 источников и приложений. Основной материал работы изложен на 194 страницах машинописного текста, содержит 17 таблиц и 96 рисунков.

Диссертация прошла успешную апробацию на международных научно-технических конференциях, а также на научно-практической конференции.

Результаты работы отражены в 7 публикациях, из них 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

2. Актуальность темы диссертационного исследования

Разработка усовершенствованной технологии формообразования обводообразующих деталей сопряжена с технологическими трудностями, обусловленными характерными особенностями данных изделий. К ключевым особенностям относятся: наличие участков двойной кривизны на поверхности и значительные габаритные размеры.

При обработке крупногабаритных панелей выявляются существенные проблемы: низкая производительность, недостаточная точность и, как следствие, низкая повторяемость результатов. Данные недостатки обусловлены высокой долей ручного труда и необходимостью непрерывного контроля со стороны оператора и технолога. Применение цифровых решений открывает возможности для повышения эффективности описанных выше процессов.

Ключевые результаты зарубежных исследований в области формообразования подобных деталей остаются недоступными для широкой научной общественности. Существующие публикации в основном содержат описание применяемого оборудования. Теоретические и экспериментальные исследования преимущественно сосредоточены на изучении напряжённо-деформированного состояния поверхностного слоя детали при дробеударной обработке, а также на анализе формоизменения образцов ограниченных размеров, обработанных дробью (шариками), что обусловлено высокой трудоёмкостью и длительностью расчётов для крупногабаритных деталей.

В настоящее время сложились все необходимые предпосылки для разработки отечественной автоматизированной технологии формообразования длинномерных обводообразующих панелей и обшивок методом дробеударного формообразования (ДУФ). Вместе с тем в данной области остаётся нерешённым ряд научных и технологических задач, в том числе: повышение точности моделирования параметров процесса ДУФ для цельной панели и определение влияния взаимозависимости соседних участков обработки друг на друга.

Существующие технологические решения характеризуются низкой производительностью при обработке крупногабаритных панелей, а также высокой зависимостью от человеческого фактора, что приводит к снижению точности и повторяемости результатов.

Таким образом, учитывая существенные технологические трудности при формообразовании длинномерных обводообразующих деталей, высокие требования к точности формы деталей, а также недостаточную изученность влияния технологических параметров процесса на показатели производительности и качества, тема представленной к защите диссертационной работы является актуальной и практически значимой.

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

Научные положения, выводы и рекомендации диссертации обоснованы комплексом методологических и технических решений: корректным математическим аппаратом, современными методами исследования, а также применением актуального программного и аппаратного обеспечения. Практическая проверка подтвердила, что разработанные автором математические модели адекватно отражают экспериментальные данные.

Экспериментальная часть исследования реализована с использованием высокоточного измерительного оборудования. В частности, натурный эксперимент по формообразованию образцов выполнен в лабораторных условиях Иркутского национального технического университета.

Выводы по работе полностью отражают суть и результаты проведённых автором теоретических и экспериментальных исследований.

4. Научная новизна и достоверность полученных результатов

В представленной к защите диссертационной работе в должной степени решены поставленные задачи:

- разработана методика и создано специализированное программное обеспечение, использующее технологию машинного зрения и машинного обучения. Позволяя в автоматизированном режиме определять количество и размеры отпечатков от дробинok инденторов с последующей автоматической генерацией конечно-элементной модели.

- разработан и экспериментально апробирован метод конечно-элементного моделирования, основанный на анализе начальных напряжений и деформаций в поверхностном слое. Установлена технологическая взаимосвязь параметров эквивалентной нагрузки с режимами ДУФ.

- на основе результатов расчётов ДУФ сформирована база данных, которая послужила основой для обучения модели назначения оптимальных режимов обработки отдельных участков панели.

- в процессе моделирования и экспериментальной обработки конструктивно подобных образцов установлены зависимости между параметрами обработки отдельных участков панели, режимами ДУФ и характером их взаимного влияния при изменении кривизны;

- разработана структура технологического процесса дробеударного формообразования с применением средств автоматизации. Включающая

моделирование и автоматическое назначение маршрутов обработки по CAD модели с использованием последовательности операций: черновое ДУФ с последующей чистовой обработкой на установках с ЧПУ.

В диссертационной работе представлены следующие результаты, представляющие научную новизну:

- разработана конечно-элементная модель, описывающая формирование начальных напряжений и деформаций в поверхностном слое заготовки под воздействием совокупности ударов шариков, различающихся по скорости и количеству.

- использованы алгоритмы машинного обучения для назначения режимов обработки ДУФ. Используя базу данных зависимостей кривизны участков панелей от начального НДС и учитывают тип оборудования: проходное - для черновой, контактное - для доводочной обработки.

- разработана методика конечно-элементного моделирования ДУФ расчётных участков деталей с использованием эпюр начальных напряжений и деформаций поверхностного слоя в качестве эквивалентной нагрузки, учитывающей режимные параметры обработки дробью.

- разработана методика назначения режимов и маршрутов обработки обводообразующих панелей с применением машинного обучения на основе результатов, полученных при помощи конечно-элементного моделирования.

Достоверность полученных научных результатов подтверждена:

- использованием метод конечно-элементного моделирования;
- использованием современного программного обеспечения;
- экспериментальным подтверждением результатов моделирования с использованием высокоточного измерительного оборудования.

5. Замечания по работе

1. Теоретические и большая часть экспериментальных исследований выполнены автором на образцах, имитирующих авиационные детали. При этом не учтено влияние конструктивных элементов реальных деталей (местных утолщений, карманов, люков и т. д.) на результаты формообразования.

2. При моделировании процесса ДУФ в основном учитывается формирование только поперечного контура полотна детали, тогда как продольная кривизна остаётся вне зоны анализа.

3. Используемый набор программного обеспечения представляет собой совокупность разрозненных программных решений без единой интегрированной оболочки. Это предъявляет повышенные требования к квалификации пользователя в части понимания последовательности работы с отдельными программами. Автору следовало бы рассмотреть возможность интеграции всех инструментов в рамках единого программного продукта с встроенной справочной системой, поясняющей функционал каждого модуля.

4. В работе представлен модуль расширения для программы Unigraphics NX12, предназначенный для определения геометрических параметров участков панели. Это накладывает ограничение при внедрении в производство - требуется обязательное использование данной САПР. В качестве альтернативы целесообразно разработать независимый модуль, способный взаимодействовать с 3D-моделями деталей различных форматов.

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

6. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Фалеева Сергея Юрьевича «Совершенствование технологии дробеударного формообразования обводообразующих деталей на основе цифровых решений» полностью соответствует паспорту научной специальности 2.5.6 «Технология машиностроения» по следующим пунктам:

п. 2: технологические процессы, операции, установы, позиции, технологические переходы и рабочие ходы, обеспечивающие повышение качества изделий и снижение их себестоимости;

п. 3: математическое моделирование технологических процессов и методов изготовления деталей и сборки изделий машиностроения.

Работа представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, в котором представлены новые научно обоснованные технические и технологические решения, имеющие существенное значение для развития отечественной машиностроительной отрасли.

Разработанная автором методика назначения режимов обработки с использованием начальных напряжений и деформаций в качестве эквивалентной нагрузки позволяет существенно повысить точность

прогнозирования результатов при проведении конечно-элементного моделирования. Предложенные цифровые решения способствуют улучшению точности, повторяемости и производительности при изготовлении крупногабаритных обводообразующих деталей сложной формы.

Исследование вносит значимый научный и практический вклад в решение задач повышения качества изготовления крупногабаритных обводообразующих деталей. Тема диссертации актуальна, результаты обладают научной новизной и практической ценностью. Материал изложен грамотно, с соблюдением норм научного стиля и использованием общепринятой терминологии. Положения, выводы и рекомендации работы обоснованы и достоверны. Автореферат корректно отражает содержание диссертации, даёт полное представление о целях, задачах, научных выводах и результатах исследования.

Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям (п. п. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней») по содержанию, актуальности и значимости. Считаю, что Фалеев Сергей Юрьевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 «Технология машиностроения».

Официальный оппонент,
кандидат технических наук, АО «Ульяновский НИАТ» г. Ульяновск



Илюшкин Максим Валерьевич
« 14 » августа 2026 г.

Подпись Илюшкина М.В. заверяю



Петрова О.В.

Начальник отдела кадров