



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе ФГБОУ
ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Космынин А.В.

« 29 » МАЯ 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации 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»

В современных отраслях высокотехнологичного машиностроения — авиастроении, ракетостроении, судостроении и др. особую роль играют крупногабаритные обводообразующие детали типа монолитно-фрезерованных панелей. В отечественной промышленности до настоящего времени не сформировано комплексное решение по автоматизации технологий формообразования подобных деталей. Наиболее остро проблема проявляется при изготовлении элементов сложной пространственной формы, длина которых может достигать десятков метров. Существующие способы формообразования имеют ряд ограничений и не всегда обеспечивают требуемую точность и повторяемость результатов. К числу основных применяемых способов относятся: свободная гибка в передвижку; формообразование в режиме ползучести; дробеударное формообразование обработка.

Перспективным направлением развития технологий является применение цифровых решений при формообразовании крупногабаритных обводообразующих деталей. В рамках данного подхода необходимо внедрение современных программных решений в технологический процесс, в том числе оснащение оборудованием с системами числового программного управления (ЧПУ).

Опытные образцы отечественного оборудования для дробеударного формообразования (ДУФ) прошли производственную апробацию. Полученные результаты демонстрируют заметное улучшение, как производительности процесса, так и качества получаемых деталей. Это убедительно подтверждает целесообразность дальнейшей работы в направлении автоматизации, как на этапе подготовки производства, так и непосредственно в процессе формообразования деталей. В тоже время, в связи с необходимостью увеличения программ выпуска авиационной техники необходимы меры по повышению производительности процесса ДУФ

Диссертационная работа Фалеева Сергея Юрьевича нацелена на решение актуальной для машиностроения проблемы совершенствования технологии

ДУФ крупногабаритных обводообразующих деталей с применением цифровых и современных технологических решений, обеспечивающих повышение точности, повторяемости и производительности процесса.

Содержание диссертационной работы

Диссертационная работа изложена на 194 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 138 наименований и приложений. Она содержит 96 рисунков и 17 таблиц.

Во введении представлен краткий анализ текущего состояния исследуемой проблемы и степени её научной разработанности, обоснована актуальность проведённого исследования, сформулированы цель и задачи работы, а также раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлены конструктивные особенности обводообразующих деталей, дан обзор технологических и экспериментальных исследований в области дробеударного формообразования.

Во второй главе показаны цифровые решения для определения эквивалентной нагрузки процесса ДУФ в виде начальных напряжений и деформаций в поверхностном слое. Повышение точности расчёта достигнуто за счёт учёта фракционного состава используемой дроби и хаотичного характера её воздействия на деталь. Для определения параметров микрорельефа обработанной поверхности разработан способ автоматизированного анализа изображений, полученных при помощи 3D оптического профилометра, с применением технологий компьютерного зрения и машинного обучения. Сформирована база данных, устанавливающая соотношение между количеством пикселей цифрового изображения и размерами отпечатков с учётом разрешения. Предложена методика конечно-элементного моделирования процесса ДУФ с использованием в качестве эквивалентной нагрузки эпюр начальных напряжений и деформаций в поверхностном слое детали.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований применимости разработанных методик и программного обеспечения (ПО). Показано, что погрешность предложенного автоматизированного способа определения параметров микрорельефа не превышает 8 %, а скорость обработки данных возрастает в 18 раз в сравнении со способом, где диаметры отпечатков определялись с использованием графических редакторов. Успешно апробирована методика конечно-элементного моделирования процесса ДУФ с использованием в качестве эквивалентной нагрузки эпюр начальных напряжений и деформаций в поверхностном слое. В ходе верификации выявлено, что относительная погрешность между расчётными и экспериментальными результатами определения стрелы прогиба расчетных участков деталей на базе 200 мм не превышает 0,13 мм при допустимом отклонении контура деталей 0,5 мм. Выявлено взаимовлияние смежных участков при последовательной обработке дроби, что позволило доказать возможность моделирования процесса ДУФ на отдельных участках при прогнозировании общей кривизны детали. Такой подход позволяет значительно упростить расчётную модель без потери точности и

существенно сократить время вычислений. Эксперименты по ДУФ конструктивно-подобных образцов оребрѐнных панелей продемонстрировали высокую степень корреляции с результатами численного моделирования.

В четвертой главе представлены рекомендации по реализации серийного технологического процесса формообразования панелей и обшивок с применением разработанного ПО.

Обоснована возможность повышения производительности процесса формообразования путѐм введения операции чернового ДУФ на установке проходного типа и доводочной операции с использованием установки контактного типа.

Дано описание разработанного с использованием алгоритмов машинного обучения ПО, в котором реализованы следующие функции:

- калибровка оборудования с определением фракционного состава применяемой дроби и параметров микрорельефа обработанной поверхности;
- разбиение САД модели детали на расчѐтные участки с определением данных, необходимых для расчѐта режимов ДУФ;
- формирование базы данных зависимостей кривизны расчѐтных участков от эквивалентных нагрузок, соответствующих режимам ДУФ;
- назначение режимов и маршрутов ДУФ для конкретных деталей на основе сформированной базы данных;
- составление управляющих программ процесса ДУФ.

Основные результаты и научная новизна

Научная новизна работы, сформулированная соискателем, не вызывает сомнения. Достигнутые результаты являются значимыми. При этом особо важными являются следующие результаты:

- предложен способ определения параметров микрорельефа обработанной дробию поверхности с применением 3D профилометра, машинного зрения и алгоритмов машинного обучения;
- выявлены закономерности формирования напряжѐнно деформированного состояния при внедрении дроби и выполнено конечно элементное моделирование с автоматической генерацией параметров соударения;
- установлены зависимости кривизны панелей и обшивок от режимных параметров дробеударного формообразования с учѐтом начальных напряжений и деформаций;
- предложена математическая модель с алгоритмами машинного обучения для прогнозирования формоизменения крупногабаритных деталей на основе базы данных кривизны и начального напряжѐнно деформированного состояния.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Значимым результатом работы является разработанная модель процесса формирования начального напряжѐнно-деформированного состояния поверхностного слоя детали при ДУФ, учитывающая фракционный состав применяемой дроби и случайный характер процесса её внедрения в обрабатываемую

поверхность. С использованием данной модели установлена зависимость между режимами ДУФ и параметрами эквивалентной нагрузки, представляющей интегральную характеристику воздействия потока дробы на поверхностный слой детали, в виде эпюр начальных напряжений и деформаций.

На основе результатов исследования сформулированы технологические рекомендации по реализации серийного изготовления крупногабаритных обводообразующих деталей. Для повышения производительности и сокращения цикла производства деталей предложено процесс ДУФ разделить на два этапа – черновая обработка на дробеударном оборудовании проходного типа и доводка формы детали на установке контактного типа.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты данной диссертационной работы могут быть использованы при разработке технологических процессов формообразования обводообразующих деталей типа панелей и обшивок на предприятиях авиастроения. Представляется целесообразным продолжение работ в направлении создания завершенных расчетных методик и технологических рекомендаций, адаптированных к требованиям инженерных служб промышленных предприятий.

Замечания по диссертационной работе

1) Исследование процесса ДУФ с обработкой дробью пластин выполнено на лабораторном пневмодинамическом оборудовании. При этом не установлена применимость методики для определения параметров микрорельефа поверхности, обработанной на дробемётных и дробеструйных установках проходного и контактного типов.

2) В методике определения фракционного состава дробы отсутствует указание на необходимое количество тестовых образцов, требуемых для тарировки дробеударного оборудования с заданной точностью.

3) При моделировании процесса ДУФ с целью определения напряженно-деформированного состояния (НДС) деталей и назначения режимов обработки дробью не учитывалось исходное НДС заготовки, обусловленное её закреплением при обработке, что может приводить к дополнительным погрешностям.

4) Автор не проводил моделирование по описанной технологической последовательности получения чернового и доводочного контура на реальных крупногабаритных панелях. Это не позволяет сделать достоверный вывод о точности моделирования применительно к конечному результату формообразования.

Заключение

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Все полученные автором результаты и сформулированные выводы полно и корректно отражены в основном тексте диссертации, а также в автореферате, который адекватно передаёт ключевые положения исследования.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и написана в соответствии с нормами академического стиля. Результаты исследования

опубликованы в семи научных работах, три из которых размещены в журналах, включённых в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ. Кроме того, основные положения и итоги работы были представлены и обсуждены на ряде профильных научных конференций.

Диссертационная работа Фалеева Сергея Юрьевича является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, соответствует паспорту научной специальности 2.5.6 «Технология машиностроения» и отражает результаты деятельности автора по исследованию и разработке технологического процесса и автоматизированного оборудования для дробеударного формообразования обводообразующих деталей.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положение о присуждении научных степеней» ВАК РФ, а ее автор Фалеев Сергей Юрьевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения.

Отзыв на диссертацию заслушан и утвержден на заседании кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (протокол № 12 от 18 мая 2026г.).

Отзыв составили:

Заведующий кафедрой «Машиностроение»
Комсомольского-на-Амуре государственного
университета, канд. техн. наук., доцент



Отряскина Татьяна
Александровна

Ведущий научный сотрудник отдела
организации и сопровождения
научно-исследовательской деятельности
Комсомольского-на-Амуре государственного
университета, докт. техн. наук, профессор



Мокрицкий Борис
Яковлевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»
Россия, 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре,
проспект Ленина, 27
Факс: +7 (4217) 53-61-50
E-mail: office@knastu.ru