

УТВЕРЖДАЮ



Ректор ФГБОУ ВО «Иркутский  
национальный исследовательский  
технический университет»,  
доктор технических наук, доцент

М.В. Корняков

« 29 » 06 20 23 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Иркутский национальный исследовательский технический университет»**

Диссертация Самойленко Олега Викторовича на тему «Обеспечение точности формы мало жестких деталей типа пластин с подкреплением, упрочняемых дробью с превентивным деформированием» выполнена на кафедре технологии и оборудования машиностроительных производств (ТОМП).

Самойленко О.В. в 2017 году окончил Иркутский национальный исследовательский технический университет по специальности «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» с присвоением квалификации бакалавра.

В 2019 году с отличием окончил Иркутский национальный исследовательский технический университет по специальности «Передовые производственные технологии» с присвоением квалификации магистра.

В период подготовки диссертации Самойленко О.В. обучался в аспирантуре очной формы Иркутского национального исследовательского технического университета по специальности 2.5.6 Технология машиностроения, окончил обучение в 2023 году.

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

### **На заседании кафедры присутствовали:**

1. Дрожжин С. Н., ст. преподаватель кафедры ТОМП;
2. Журавлев Д.А., д.т.н., профессор кафедры ТОМП;
3. Зайдес С.А., д.т.н., профессор кафедры материаловедения, сварочных и аддитивных технологий;
4. Зарак Т. В., к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
5. Иванов Ю. Н., к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
6. Исаченко А. С., к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
7. Казимиров Д. Ю., к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
8. Каргапольцев С. К., д.т.н., профессор кафедры ТОМП;

9. Кольцов В. П., д.т.н., профессор кафедры ТОМП;
10. Ле Чи Винь, к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
11. Майзель И. Г., к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
12. Макарук А. А., к.т.н., доцент кафедры авиамашиностроения;
13. Москвитин В. Н., к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
14. Пашков А.А., к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
15. Пашков А.Е., д.т.н., профессор кафедры ТОМП;
16. Пономарев Б.Б., д.т.н., профессор кафедры ТОМП;
17. Пятых А. С., к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
18. Родыгина А. Е., к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
19. Савилов А. В., к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
20. Свинин В.М., д.т.н., профессор кафедры ТОМП;
21. Солер Я. И., к.т.н., профессор кафедры ТОМП;
22. Стародубцева Д. А., к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
23. Стрелков А. Б., к.т.н., доцент кафедры ТОМП;
24. Хвощевская Л.Ф., к.т.н., ст. преподаватель кафедры ТОМП;
25. Чащин Н. С., к.т.н., ассистент кафедры ТОМП.

#### **По итогам обсуждения принято следующее заключение:**

Представленная Самойленко О.В. диссертация обобщает самостоятельные исследования автора и является завершённым научным трудом, выполненным на актуальную тему по научной специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

#### **Актуальность темы диссертационного исследования**

В конструкцию силового каркаса изделий типа летательных аппаратов и судов входят детали из высокопрочных алюминиевых сплавов типа «Шпангоут», «Стенка», «Панель», «Обод» и т.д., представляющие собой пластины с подкреплением. Данные детали имеют значительные габаритные размеры (несколько метров) и изготавливаются фрезерованием из высокопрочных алюминиевых сплавов. В целях снижения веса и повышения жесткости детали, как правило, состоят из полотна и подкрепляющего набора в виде продольно-поперечного оребрения. В целях повышения эксплуатационного ресурса ответственных деталей применяется поверхностное деформационное упрочнение ударными методами. Для деталей с большими габаритными размерами наиболее эффективным способом упрочнения является дробеударная обработка.

При изготовлении подкреплённых деталей, как в процессе фрезерования, так и при последующем упрочнении возникает нежелательная деформация (коробление), выражающаяся в отклонении от плоскостности и саблевидности. После фрезерования коробление устраняют, в основном, правкой прессовой гибкой. Главными недостатками данного метода являются зависимость от квалификации исполнителей и высокая вероятность брака из-за образования

трещин. Лучшие результаты дают методы правки местным пластическим деформированием, одним из которых является раскатка роликами элементов подкрепляющего набора деталей, в связи с хорошей управляемостью, отсутствием пружинения и исключением риска трещинообразования.

Серьёзной проблемой является обеспечение точности упрочнённых деталей, поскольку их правка пластическим деформированием недопустима в связи с возможным разупрочнением. Вызывая деформацию удлинения поверхностных слоёв упрочняющая обработка ППД неизбежно приводит к нежелательным деформациям деталей.

Единственным разрешенным отраслевыми инструкциями способом снижения коробления, возникающего в процессе дробеударного упрочнения, является последующая правка ручными дробеструйными установками. Однако в связи с высокой жёсткостью подкреплённых деталей, а также с наличием пластически деформированного при упрочнении поверхностного слоя, данный способ требует повышенной интенсивности обработки, что ограничивает его возможности и может привести к перенаклепу.

Эффективным решением проблемы минимизации отклонений пространственной формы подкреплённых деталей, возникающих в процессе дробеударного упрочнения, является превентивное деформирование, т.е. внесение в деталь расчётного предискажения формы, компенсирующего деформации, образующиеся при последующем упрочнении. Использование в качестве способа превентивного деформирования раскатки роликами элементов подкрепляющего набора деталей обеспечивает преимущества перед существующими способами правки по качеству и производительности.

Актуальность темы исследования определяется высокими требованиями к качеству наиболее сложных, ответственных и дорогостоящих деталей каркаса, типа маложестких пластин с подкреплением, применяемых в авиастроении, судостроении, ракетостроении и других отраслях промышленности. При изготовлении данных деталей необходимо обеспечить заданные показатели точности пространственной формы и ресурса. Одновременное достижение данных показателей представляет проблему в связи с тем, что для повышения усталостной долговечности деталей применяется дробеударное упрочнение, имеющее побочный эффект в виде искажения пространственной формы (коробления) деталей. Правка упрочнённых деталей методами упругопластического деформирования недопустима, т.к. может привести к потере упрочняющего эффекта. Разработка технологических решений по минимизации коробления при дробеударном упрочнении обеспечит возможность достижения заданных ресурсных параметров деталей.

**Целью работы:** повышение эффективности производства и качества маложестких деталей типа пластин с подкреплением на основе прогнозирования отклонений формы деталей при дробеударном упрочнении и их минимизации путём превентивного деформирования.

### **Основные научные результаты**

1. Методика определения методом конечно-элементного моделирования внутренних силовых факторов процесса дробемётного упрочнения в виде растягивающих сил, действующих на конструктивные элементы обрабатываемых деталей типа пластин с подкрепляющими рёбрами, и координат точек приложения данных сил (расстояния от поверхности), связанных с режимами и условиями дробемётной обработки.

2. Результаты численного и экспериментального исследования закономерностей формирования НДС маложестких деталей типа пластин с подкрепляющими рёбрами при дробемётном упрочнении с оценкой влияния данного процесса на форму и остаточное напряженное состояние деталей.

3. Методика расчета режимных параметров процесса превентивного деформирования маложестких деталей типа пластин с подкрепляющими ребрами, подвергаемых дробемётному упрочнению, раскаткой роликами с последующей дробеструйной доводкой.

4. Результаты исследования влияния режимов и условий обработки образцов в последовательности «Превентивное деформирование раскаткой роликами – дробемётное упрочнение» на усталостную долговечность материала.

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

Предложен способ минимизации короблений, возникающих в процессе дробеударного упрочнения, разработана конечно-элементная модель процесса дробемётного упрочнения типовой детали типа пластины с подкрепляющими рёбрами путём нагружения расчетными силами, разработана методика и проведены испытания на усталостную долговечность.

Автор принимал непосредственной участие в разработке и внедрении в производство на Иркутском авиационном заводе – филиале ПАО «Яковлев» комбинированной технологии «Превентивное деформирование – дробеменное упрочнение» деталей типа подкрепленных ободов и стенок.

## **Степень достоверности исследований**

Достоверность подтверждена сходимостью полученных результатов моделирования и экспериментальных исследований. Действительность выводов подтверждается практической реализацией результатов.

Экспериментальные результаты получены с использованием современного высокоточного аналитического оборудования: оптического профилометра Bruker ContourGT-K1, стенда машинного зрения NI SMART CAMERA 1764, универсальной сервогидравлической испытательной машине EHF-EV101K2-04N-1E, установки для измерения остаточных напряжений УДИОН-2.

## **Научная новизна работы:**

1. Впервые установлены характерные для упрочняемых дробеударным методом деталей типа пластин с подкреплением количественные взаимосвязи

- внутренних силовых факторов в виде растягивающих сил и координат точек приложения данных сил (расстояния от поверхности), возникающих в поверхностном слое детали при дробемётном упрочнении и приводящих к короблению детали, с технологическими параметрами процесса обработки;

- параметров коробления в виде стрел прогиба в сечениях деталей с внутренними растягивающими силами, действующими на конструктивные элементы деталей и связанными с режимами дробемётного упрочнения (п. 7 паспорта специальности 2.5.6).

2. Предложена предсказательная модель процесса дробемётного упрочнения смесью дроби регламентированного фракционного состава, представляющая множественное внедрение в обрабатываемую поверхность партий дробинок с диаметрами, определёнными на основе анализа реального микрорельефа обработанной поверхности (п. 6 паспорта специальности 2.5.6).

3. Обоснована возможность управления процессом технологического наследования отклонений пространственной формы деталей типа пластин с подкреплением при дробемётном упрочнении, заключающийся в превентивном деформировании конструктивных элементов деталей раскаткой роликами с созданием расчетного предыскажения формы деталей в противоположном направлении (п. 6 паспорта специальности 2.5.6).

4. Экспериментально установлена взаимосвязь режимов и условий обработки типовых деталей типа пластин с подкрепляющими рёбрами превентивным деформированием раскаткой рёбер роликами с последующей дробеударной обработкой с усталостной долговечностью материала деталей (п. 7 паспорта специальности 2.5.6).

## **Теоретическая и практическая значимость:**

На основании полученных результатов в ходе выполнения теоретических и экспериментальных исследований установлены основные закономерности процесса обработки деталей типа пластин с подкреплением в технологическом сочетании «Превентивное деформирование – дробеударное упрочнение»; разработан способ минимизации коробления деталей, подвергаемых дробементному упрочнению, заключающийся в превентивном деформировании путём раскатки роликами конструктивных элементов деталей; разработана и экспериментально подтверждена методика определения технологических параметров процесса превентивного деформирования типовых подкреплённых деталей на основе их расчетного формоизменения в процессе упрочнения.

Применение разработанного способа обеспечивает повышение точности формы деталей типа пластин с подкреплением, подвергаемых дробементному упрочнению, и, как следствие, снижение монтажных напряжений при дальнейшей сборке узлов и агрегатов.

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

В изданиях, входящих в перечень Scopus/Web of Science:

1. Makaruk A.A., Pashkov A.A., **Samoylenko O.V.** Increasing the shape accuracy of the hardened parts of the frame by technological methods // *Materials Science and Engineering: IOP Conference Series*. 2019: Vol. 632.

В изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Определение отклонений формы деталей силового каркаса летательных аппаратов при дробементном упрочнении методом конечно-элементного моделирования / А. А. Макарук, А. А. Пашков, **О. В. Самойленко** // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. – 2018. – № 3(59). – С. 23-29. – DOI 10.26731/1813-9108.2018.3(59).23-29.

2. Определение внутренних силовых факторов, возникающих при упрочнении подкреплённых ребрами деталей / А. А. Макарук, А. А. Пашков, А. М. Хамаганов, **О. В. Самойленко** // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2018. – Т. 22, № 10(141). – С. 29-37. – DOI 10.21285/1814-3520-2018-10-29-37.

3. Методика расчета технологических параметров превентивного деформирования упрочняемых деталей типа "стенка" / А. А. Макарук, **О. В. Самойленко**, Ю. Н. Иванов [и др.] // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2021. – Т. 25, № 1(156). – С. 8-16. – DOI 10.21285/1814-3520-2021-1-8-16.

4. Исследование начальных напряжений процесса обработки дробью / А. Е. Пашков, А. А. Пашков, **О. В. Самойленко** // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2022. – Т. 20, № 4. – С. 120-128. – DOI 10.18503/1995-2732-2022-20-4-120-128.

5. Определение фракционного состава дробы при упрочнении ударными методами с помощью технического зрения / А. А. Пашков, **О. В. Самойленко**, А. А. Самойленко // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2022. – Т. 25, № 4. – С. 10-17. – DOI 10.22213/2413-1172-2022-4-10-17.

В прочих изданиях:

1. Оценка влияния предсказания формы перед дробеметным упрочнением на ресурс изделий из алюминиевых сплавов / А. Е. Пашков, А. А. Пашков, А. А. Макарук, **О. В. Самойленко** // VIII международная конференция проблемы механики современных машин : Сборник статей конференции, оз. Байкал, 04–09 июля 2022 года. – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2022. – С. 197-204. – DOI 10.53980/9785907599055\_197.

2. Румянцев, Ю. С. Перспективы развития технологии упрочняющей обработки методами поверхностного пластического деформирования / Ю. С. Румянцев, Л. М. Петров, **О. В. Самойленко** // 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. 34-38.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на восьмой международной конференции «Проблемы механики современных машин» (г. Улан-Удэ, «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» 4 июля 2022); первой Региональной конференции «iPolytech Conference» (г. Иркутск, ИРНТУ 23-25 ноября 2022); XVI Международной научно-практической конференции «Современные авиационные технологии. International Conference on Aviation Engineering» (Иркутск, 03–07 июля 2023 года).

## **Выводы**

Диссертация Самойленко Олега Викторовича «Обеспечение точности формы маложестких деталей типа пластин с подкреплением, упрочняемых дробью с превентивным деформированием» 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 Самойленко Олег Викторович проявил себя зрелым научным работником.

**Расширенное заседание кафедры «Технологии и оборудования машиностроительных производств» принимает следующие решения:**

1) признать, что по актуальности изученной проблемы, научной новизне, теоретической и практической полезности полученных результатов работа О.В. Самойленко «Обеспечение точности формы маложестких деталей типа пластин с подкреплением, упрочняемых дробью с превентивным деформированием» представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»;

2) рекомендовать к защите диссертационную работу О.В. Самойленко «Обеспечение точности формы маложестких деталей типа пластин с подкреплением, упрочняемых дробью с превентивным деформированием» в диссертационном совете 24.2.307.01 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 Самойленко О.В. к защите в диссертационном совете 24.2.307.01.

«за» – 25 чел.;

«против» – 0 чел.;

«воздержалось» – 0 чел.

Протокол № 12 от 28.06.2023 г.

Председатель расширенного заседания  
кафедры «Технологии и оборудования  
машиностроительных производств»  
к.т.н., доцент

*З*

Зарак Т.В.

Секретарь заседания

*Пискунова*

Пискунова Ю.Ю.

