

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный  
исследовательский технический университет»,

доктор технических наук, доцент

Корняков М.В.

« 03 » 02 2021 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» на диссертационную работу **Бачурина Александра Сергеевича**, выполненную на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕЖОПЕРАЦИОННОГО ПРИПУСКА ПОД ТЕРМИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ НА ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАРКАСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ» и представленную к защите по научной специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

### Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа направлена на расширение методики определения величины припуска на крупногабаритные каркасные детали летательных аппаратов (ЛА), выполненных из алюминиевых сплавов, проходящих термическую обработку между операциями механической обработки.

Применение каркасных крупногабаритных цельнофрезерованных деталей в конструкции летательных аппаратов неуклонно растет, за счет необходимости снижения массы летательных аппаратов и повышения их ресурса. Повышение аэродинамического совершенства ЛА приводит к усложнению геометрии каркасных крупногабаритных деталей. На практике получила распространение технология производства подобных деталей из крупногабаритных прямоугольных заготовок. Из данных заготовок, с определенным припуском, вырезается заготовка под термическую обработку. Это обусловлено невозможностью проведения закалки на всю глубину детали из-за ограничения прокаливаемости материала. После термической обработки заготовка проходит дальнейшую механическую обработку до готового состояния детали.

Заготовки под закалку, полученные вышеописанным способом, характеризуются закалочным короблением, ввиду своей низкой жесткости. А детали, полученные из таких заготовок, имеют значительный уровень поворотов,



детали, полученные из таких заготовок, имеют значительный уровень поводок, обусловленный остаточными напряжениями, накопленными в ходе термической обработки. Заготовка обрабатывается с применением станочной оснастки в заневоленном состоянии, и до высвобождения имеет заданную форму. Однако, после снятия с станочных приспособлений меняет свою форму ввиду наличия внутренних напряжений. Внутренние напряжения возникают на каждом этапе производства, в работе рассматриваются остаточные закалочные напряжения и их связь с величиной припуска, оставленного под закалку.

Основное внимание в работе уделено изучению влияния величины припуска под закалку на уровень коробления и распределение остаточных закалочных напряжений по сечению заготовки. Рассматривается влияние припуска на уровень как коробления заготовки, возникшего в ходе закалки, так и уровень поводок готовой детали из-за наличия остаточных закалочных напряжений. В работе рассматриваются картины распределения остаточных закалочных напряжений по сечению заготовки и их взаимосвязь с короблением готовой детали

Работа Бачурина А.С. направлена на решение вопроса определения величины межоперационного припуска под закалку с целью снижения уровня коробления как заготовки проходящей термическую обработку, так и детали изготовленной из неё.

### **Общая характеристика диссертации**

Диссертационная работа изложена на 95-ти страницах машинописного текста, состоит из введения, 3-х глав и заключения.

**Во введении** обоснована актуальность и степень разработки темы исследования, определены цели и основные задачи работы, отражена научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** выполнен обзор аэродинамических обводов фонарей пассажирских авиалайнеров в различные периоды времени проектирования и современных тенденций применения цельнофрезерованных крупногабаритных деталей в их конструкции. Описаны проблемы, связанные с производством цельнофрезерованных каркасных крупногабаритных деталей, рассматриваются вопросы технологической наследственности. Уделено внимание остаточным напряжениям и короблению возникающим в результате закалки. Дано описание предшествующих исследований по определению величины припуска под различные операции, описаны их применимость и недостатки, связанные с применением на каркасных деталях, изготавливаемых на авиационных производствах. Также дан обзор предшествующих работ, посвященных деталям типа панель со сниженными характеристиками жесткости и обладающими большими габаритами, характерными для авиационной промышленности, а



также обзор работы, связанной со спецификой размещения детали в теле заготовки и его влияния на точность изготовления.

**Во второй главе** изложены общие подходы к моделированию процесса закалки в части решения тепловой задачи с большими температурными градиентами. Дано описание макроса для среды программного продукта Ansys позволяющего моделировать процесс погружения. Показано значительное влияние процесса погружения на картину распределения температурного поля по телу заготовки в ходе охлаждения, при закалке. Показано влияние процесса погружения на деформированную форму заготовки, получаемую при закалке. Проведена серия экспериментов для подтверждения верности математического моделирования по прогнозированию коробления при закалке.

Показаны результаты моделирования закалки для различных величин припуска на примере сечения детали сложной формы. Акцентируется внимание на характере распределения остаточных напряжений по сечению. Показаны контуры детали в сечении заготовки, дано описание влияния остаточных напряжений заготовки на коробление готовой детали. Показана разница температур в заготовке в ходе процесса охлаждения для различных вариантов припуска.

Дается описание предлагаемого показателя склонности детали к короблению в зависимости от выбранной величины припуска. Также описывается методика выбора припуска по эквидистанте, основанная на предлагаемом показателе и направленная на получение наилучшего сочетания жесткостных характеристик сечения и разницы температур возникаемой при закалочном охлаждении. Утверждается, что такое сочетание должно обеспечить снижение величины коробления как заготовки при закалке, так и уровень поводок при окончательной механической обработке детали.

**В третьей главе** описывается внедрение на филиале ПАО «Компания «Сухой» «НАЗ им. В.П. Чкалова» предложенной методики расчета величины припуска под закалку с учетом предложенного припуска. Внедрение осуществляется на примере детали авиалайнера Сухой Суперджет, а именно на раме переплета фонаря. Приводятся описание и данные о короблении заготовки до внедрения и после. Показано двукратное снижение величины коробления заготовки после закалки и достижение точностных показателей изготовления детали, заложенных в конструкторской документации, которые не достигались до внедрения предлагаемой методики, основанной на разработанном показателе.

### **Методология и методы исследования**

Методологический подход в работе основан на применении моделирования процесса закалки для оценки характера и уровня коробления



закаливаемых заготовок. Для моделирования использован программный продукт Ansys и разработанная автором процедура. Моделирование закалки производилось в квазистационарном виде, с разделением тепловой и структурной задач. Для моделирования процесса применялась билинейная модель поведения материала, с учетом зависимости характеристик материала от температуры полученные с Филиала ПАО «Компания «Сухой» «НАЗ им. В.П. Чкалова», а также накладывались граничные условия третьего рода на границы детали при моделировании теплообмена при закалочном охлаждении. Для подтверждения верности выбранных настроек программного продукта в работе приводится сравнение тепловой задачи с аналитическим решением и сравнение моделирование закалки прямоугольного бруса с экспериментальными данными по уровню коробления. Исследования по закалке крупногабаритных заготовок производились на территории филиала ПАО «Компания «Сухой» «НАЗ им. В.П. Чкалова». Измерения закалочного коробления крупногабаритных заготовок выполнялось на трехкоординатной измерительной машине ACCURA™ фирмы "Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH".

#### **Научная новизна проведенных исследований**

Научная новизна диссертационной работы Бачурина А.С. включает следующие основные положения:

- предложенный автором критерий сопротивляемости заготовки короблению при закалке для крупногабаритных каркасных деталей;
- методику расчета величины межоперационного припуска под закалку для крупногабаритных каркасных деталей исходя из сравнения сопротивляемости заготовки короблению при закалке для каждой величины припуска;
- повышение точности изготовления каркасных деталей летательных аппаратов, проходящих закалку между операциями механической обработки, путем определения припуска под закалку согласно предлагаемой методике.

#### **Степень достоверности и апробация результатов работы**

Достоверность полученных результатов подтверждена сравнением результатов математического моделирования с экспериментальными данными, полученными с использованием аттестованного промышленного оборудования и поверенных средств измерений. Полученные результаты применяются непосредственно на производстве филиала ПАО «Компания «Сухой» «НАЗ им. В.П. Чкалова».

Полученные результаты не противоречат общепринятым положениям.

Апробация работы выполнена путём докладов и обсуждения на технических конференциях:



- Научно-технических конференциях «Дни науки НГТУ-2009» и «Дни науки НГТУ-2010» по секции «Производство и эксплуатация летательных аппаратов» (г. Новосибирск, 19 марта 2009 г. и 23 марта 2010 г.);
- «Дни науки НГТУ-2012» и «Дни науки НГТУ-2013» на пленарных заседаниях (г. Новосибирск, 12 марта 2012 г. и 14 марта 2013 г.);
- Новосибирской внутривузовской научно-технической конференции магистрантов и аспирантов на иностранных языках «Инновационные технологии Сибири» (г. Новосибирск, 7 апреля 2011 г.);
- XII Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона», посвященной 50-летию полета Ю.А. Гагарина в космос (г. Новосибирск, 20-22 апреля 2011 г.);
- XIII Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона», посвященной 200-летию Бородинской битвы (г. Новосибирск, 18-20 апреля 2012 г.);
- Онлайн совещании ОАО «ОАК» с опорными ВУЗами по перспективным НИОКР в области авиационной промышленности (Москва-Новосибирск, 3 октября 2013 г.);
- VII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения» (г. Томск, 2013 г.);
- XII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения» (г. Томск, 2019 г.);
- II International Scientific Conference on Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering - MIST: Aerospace - 2019 in November 18-21, 2019 in Krasnoyarsk, Russia.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая значимость заключается в разработке методики определения величины межоперационного припуска под закалку для каркасных крупногабаритных заготовок авиационных деталей, заключающаяся в сравнении величины показателя склонности заготовки к короблению, рассчитанного для каждой величины назначенного припуска.

Практическую значимость работы подтверждают следующие результаты:

- составлены рекомендации по выбору припуска под закалку для крупногабаритных каркасных деталей летательных аппаратов, подвергаемых в дальнейшем механической обработке.
- выявлена взаимосвязь уровня деформаций детали с направлением погружения. Определены предпочтительные направления погружения в закалочную среду крупногабаритных деталей сложной геометрии.
- разработана процедура для конечно-элементного пакета ANSYS, позволяющая моделировать процесс погружения детали в закалочную среду.



## **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Результаты работы могут быть рекомендованы для использования на предприятиях авиационной промышленности задействованных в производстве элементов конструкции летательных аппаратов.

### **Соответствие паспорту специальности**

Диссертационная работа по своим целям, содержанию и методам исследования соответствует научной специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов: пункту 12 – «Технологические процессы, специальное оборудование для изготовления деталей летательных аппаратов, включая технологию: изготовления литых деталей; изготовления деталей обработкой давлением (ковка, штамповка и др.); изготовления деталей с помощью лучевых энергетических пучков и другими физическими и физико-химическими методами; изготовления деталей из жидких, порошкообразных или волокнистых материалов; изготовления деталей из неметаллических материалов, в том числе деталей теплозащиты; нанесения покрытий; изготовления деталей из композиционных материалов; изготовления деталей гальванопластикой; термической, термомеханической и химико-термической обработки деталей; обработки металлов резанием; изготовления деталей совмещенными и комплексными методами, в том числе в гибких производственных системах».

### **Общая оценка диссертационной работы**

Диссертационная работа Бачурина А.С. является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. Новизна, практическая значимость и достоверность представленных результатов не вызывают сомнений.

Следует отметить большой объем литературы, исследованный в ходе решения вопроса о повышении точности изготовления крупногабаритных каркасных деталей летательных аппаратов, глубокую проработку вопросов, связанных с причинами коробления при закалке и причин возникновения поводов уже готовых деталей, производимых из термообработанных заготовок. Оригинальность подхода в вопросе повышения точности изготовления каркасных деталей путем регулирования величины припуска. А также большой объем экспериментальных работ, проведенных на производстве, связанный с измерением коробления заготовок при закалке.

Представленные материалы достаточно полно отражены в публикациях, прошли апробацию на конференциях.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.



По диссертационной работе имеются замечания. Основными из них являются:

1. Не раскрыты вопросы экономической эффективности применяемой технологии производства крупногабаритных деталей из крупногабаритных заготовок прямоугольной формы. А также не раскрыты вопросы экономического эффекта при переходе от заготовки под закалку до проведения работ диссертанта, с припуском до прямоугольного сечения, к заготовке с припуском, рассчитанным в ходе применения предлагаемой методики.

2. Не в полной мере описан переход от двумерной задачи закалки к крупногабаритным каркасным заготовкам сложной геометрии свойственной авиационным деталям, на которые экстраполируются результаты моделирования закалки бруса и сечений детали.

3. Отсутствует практическая информация по величине напряжений в заготовке после закалки, подтвержденная измерениями.

4. Отсутствуют данные по машинному времени изготовления рамы переплета фонаря с дополнительными операциями механической обработки (с постепенным обнижением припуска, для снижения влияния внутренних напряжений) в сравнении с временем изготовления после изменения технологии.

5. В автореферате «Основные результаты работы» следовало назвать «Заключение».

6. В автореферате допущена опечатка, в описании предлагаемого показателя, формула 5, обозначен в числителе центральный момент инерции, а в соответствии с диссертацией (формула 15) геометрический момент инерции.

7. Первая глава диссертации должна заканчиваться постановкой цели и задач исследования.

**Общее заключение.** Основные результаты диссертации опубликованы в 16-ти научных работах, в том числе 6 научных статей в рецензируемых журналах, включенных ВАК в перечень ведущих периодических изданий, и 1 публикация в издании, включенном в базу цитирования Scopus.

Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на 11-ти конференциях, 2-е из которых всероссийские и 3-и международные. Получен акт внедрения результатов исследования на действующем авиационном производстве от филиала ПАО «Компания «Сухой» «НАЗ им. В.П. Чкалова».

Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают основное содержание диссертации.

Уровень решенных задач в рамках диссертационного исследования соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

Диссертационная работа Бачурина А.С. на тему «Исследование влияния межоперационного припуска под термическую обработку на точность изготовления каркасных деталей летательных аппаратов» является завершённой научно-квалификационной работой, которая по критериям обоснованности, достоверности, актуальности, научной новизны и выводов соответствует требованиям п.7 «Положения о порядке присуждения учёных степеней». Диссертант, Бачурин Александр Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

Отзыв рассмотрен, обсужден и единогласно одобрен на научно-техническом семинаре кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (Протокол № 2/21 от 28 января 2021 г.).

Заведующий кафедрой технологии и оборудования машиностроительных производств ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», доктор технических наук, профессор

П  
Э  
О

Пашков Андрей Евгеньевич  
28.01.2021г.

Заведующий кафедрой самолётостроения и эксплуатации авиационной техники ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», кандидат технических наук, доцент

Бобарика Игорь Олегович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет». Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.  
Контактный телефон: тел/факс 8 (3952)405-100