

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО «Иркутский
национальный исследовательский
технический университет», д.т.н.

_____ М.В. Корняков

_____ » 09 _____ 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ИРНИТУ) на диссертацию Погарцевой Марии Михайловны «Исследование процессов формообразования деталей летательных аппаратов методами изгиба с растяжением и последующим удалением части материала», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов»

Актуальность работы

В авиастроении большое количество тонкостенных деталей изготавливают на обтяжных прессах с числовым программным управлением (ЧПУ). К ним относятся детали обшивки и элементы шпангоутов. Такие детали получают из листовых и профильных заготовок при помощи технологических операций изгиба с растяжением. Существующие в настоящее время способы формообразования указанных деталей, основанные на использовании в качестве оснастки обтяжного пуансона, не учитывают пружинение материала при изготовлении детали. Однако пружинение может оказывать влияние на геометрическую точность деталей, приводя к отклонению от теоретического контура летательного аппарата.

Обшивки и элементы шпангоутов имеют переменную кривизну, переменную толщину или переменную геометрию стенки и полки, поэтому процесс их производства включает технологические операции удаления

части материала, например, химическое травление. Однако существующие методы производства не учитывают возможность перераспределения остаточных напряжений после удаления части материала, что может приводить к искажению геометрии детали по сравнению с теоретической формой.

Это означает, что задача определения величины упругого последствия (пружинения) деталей летательных аппаратов после их изготовления на станках с ЧПУ и удаления части материала является актуальной задачей. Её решение позволит уточнить формы обтяжных пуансонов и повысит точность их изготовления.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1 Разработана математическая модель технологического процесса формообразования деталей летательных аппаратов методами изгиба с растяжением на обтяжных прессах с числовым программным управлением с учетом схемы нагружения заготовки (то есть последовательности применения операций изгиба, растяжения и их комбинаций) и эффекта Баушингера.

2 Создана методика расчёта конечной формы детали с учётом пружинения вследствие удаления части материала формообразованной заготовки.

3 Создана методика расчёта управляющих параметров для реализации на обтяжном прессе с числовым программным управлением схемы нагружения, обеспечивающей большую геометрическую точность изготовления детали.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии методов расчета напряженно-деформированного состояния деталей

летательных аппаратов с учетом схемы нагружения и эффекта Баушингера в процессе формообразования методами изгиба с растяжением на обтяжных прессах и последующим удалением части материала.

Практическая значимость работы заключается в повышении точности изготовления деталей летательных аппаратов методами изгиба с растяжением на обтяжных прессах по управляющим программам, рассчитанным с применением разработанных методик. Это приводит к повышению качества и уменьшению времени на доработку при изготовлении деталей летательных аппаратов.

Подтверждает практическую значимость работы акт о внедрении в производство части результатов диссертации в филиале ПАО «Компания «Сухой» «КнААЗ им. Ю. А. Гагарина».

Степень обоснованности и достоверности результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается корректным использованием фундаментальных принципов теории обработки металлов давлением, теории упругости и теории пластичности. Принятые допущения обоснованы, математические методы исследования решаемых задач корректны. Удовлетворительное совпадение теоретических расчетов с результатами моделирования в САЕ системе MSC.Marc и результатами экспериментальных исследований свидетельствует об адекватности предложенной модели изучаемому технологическому процессу.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и материалов приложений. Работа изложена на 120 страницах машинописного текста, содержит 69 рисунков, 3 таблицы, список литературы из 70 наименований и 7 приложений на 66 страницах.

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

В **первой главе** дан конструкторско-технологический анализ изделий, получаемых методами изгиба с растяжением. Проанализированы существующие наиболее распространенные процессы формообразования листовых и профильных заготовок в производстве деталей летательных аппаратов, перечислены их особенности и технологические возможности производственного оборудования. Проведен анализ литературных источников, где приведены основные существующие подходы к определению напряженно-деформированного состояния деталей при производстве методами изгиба с растяжением.

Во **второй главе** рассмотрены особенности расчёта напряжённо-деформированного состояния для различных схем нагружения с учетом очередности применения операций изгиба и растяжения. Приведена математическая модель процесса формообразования детали, сформулированы граничные условия. Проведён учет влияния эффекта Баушингера на свойства материала для процессов формообразования для изучаемых схем нагружения, для каждой схемы построены диаграммы, связывающие напряжения и деформации с учетом эффекта Баушингера.

Приведены методики и расчётные формулы для определения остаточных напряжений на этапах изготовления деталей летательных аппаратов, то есть на этапе формообразования и последующего удаления части материала. Представлена процедура расчёта остаточных напряжений и остаточной кривизны детали при разгрузке, а также пружинения после частичного удаления материала формообразованной заготовки.

В **третьей главе** приведена методика расчёта технологических параметров процесса формообразования деталей летательных аппаратов переменной кривизны. Произведен расчет управляющих параметров обтяжного пресса Т-600 с учётом его кинематики. Разработаны алгоритмы

определения технологических параметров для реализации изучаемых схем нагружения с учетом предложенной методики.

В четвертой главе приведены результаты расчетно-экспериментальных исследований процессов формообразования деталей летательных аппаратов методами изгиба с растяжением и последующим удалением части материала по предложенной автором диссертации методике. Численно-аналитические исследования проведены для образцов из сплава 1163Т при формообразовании на обтяжном пуансоне с постоянным радиусом 1000 мм. Проведены вычислительные эксперименты для исследования влияния эффекта Баушингера на величину пружинений. Формообразование образцов выполнено для трех схем нагружения при различных комбинациях значений деформаций предварительного и калибрующего растяжений.

Описаны результаты моделирования процессов формообразования деталей методом конечных элементов в САЕ системе MSC.Marc. Также приведены результаты натурных экспериментов, проведенных на обтяжном прессе Т-600 с использованием оснастки для формообразования обшивки детали самолета. Эксперимент выполнен для трех схем нагружения: растяжение – изгиб, изгиб – растяжение и растяжение – изгиб – растяжение, для которых заданы различные значения предварительного и калибрующего растяжений.

Представлено сравнение геометрии образцов, полученных при натурном эксперименте, численно-аналитическом и КЭ расчётах.

В приложениях приведены программы расчёта геометрии детали после формообразования заготовки с учётом эффекта Баушингера и удалением части материала для трёх схем нагружения; подпрограммы расчёта управляющих параметров процесса формообразования детали, реализованные в пакете MathCAD. Также приведен акт о внедрении в производство результатов диссертационного исследования.

Замечания и вопросы

1. В тексте диссертации и автореферата указано, что количество приложений 5. В оглавлении их 6 (пропущено приложение №6). А на самом деле приложений 7.
2. Формулировки цели работы в диссертации и автореферате отличаются.
3. В списке литературы и в тексте работы отсутствуют ссылки на иностранные работы по тематике диссертации, а ссылок на современные научные статьи российских авторов в научной периодике за последние 5 лет – ни одной.
4. Недостаточно корректно используются в работе некоторые обозначения. Например, величина E_n используется в тексте диссертации более 40 раз, величина K_n – более 10 раз, однако, что они обозначают, в тексте явно не написано. Для обозначения коэффициента трения используется и обозначение μ , и обозначение $f_{тр}$.
5. Численно-аналитические и экспериментальные исследования, а также конечно-элементное моделирование было проведено только для листовых заготовок. Насколько корректно утверждение, что указанный подход применим к прогнозированию напряженно-деформированного состояния профильных деталей летательных аппаратов?

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Погарцевой Марии Михайловны является законченной научно-квалификационной работой. Тема работы актуальна, диссертация обладает научной новизной, научной и практической значимостью. Все утверждения и выводы корректны и обоснованы.

Предложенная методика определения напряжённо-деформированного состояния при изгибе с растяжением и последующим удалением части

материала, позволяющая учитывать последовательность этапов формообразования, а также эффект Баушингера, возникающий при знакопеременном нагружении детали при формообразовании, способствует более точному расчету пружинения заготовки после снятия нагрузки и определению конечной формы детали. С помощью указанной методики можно проектировать оснастку прессового оборудования для изготовления деталей с большей геометрической точностью.

Основные результаты работы опубликованы в ведущих российских и иностранных журналах, а также прошли апробацию на российских и международных конференциях. Автореферат и публикации соответствуют содержанию диссертационной работы.

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а также п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., в действующей редакции. Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов» (технические науки).

Автор диссертации Погарцева Мария Михайловна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Самолетостроения и эксплуатации авиационной техники» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский

национальный исследовательский технический университет», протокол заседания № 1 от 18 . 09 .2020 г.

Гусев Игорь Николаевич
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Самолетостроения
и эксплуатации авиационной
техники»

Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Иркутский национальный
исследовательский технический
университет», 664074, г. Иркутск, ул.
Лермонтова, 83.

Телефон: +7 (3952) 405-000

E-mail: info@istu.edu