

«УТВЕРЖДАЮ»

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

М.В. Корняков

2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ИРНИТУ) на диссертацию Чжо Заяр Со «Расчёт технологических возможностей процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов с применением диаграмм предельного формоизменения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов»

Актуальность работы

В авиастроении широко применяется технологическая операция листовой штамповки. Среди основных преимуществ листовой штамповки можно выделить большую производительность, сравнительно низкую себестоимость деталей, небольшой расход материала и небольшие потери при раскрое, возможность механизации и автоматизации производства.

Важной проблемой остается разработка оптимального варианта технологического процесса изготовления конкретной детали. Это приводит к большим объемам экспериментальных и доводочных работ на стадии технологической подготовки производства.

Для получения качественных деталей необходимо уметь рассчитывать предельные деформации, превышение которых приводит к появлению дефектов в деформируемой заготовке: образованию трещин, гофров, складок, локального утонения, неравномерного утонения заготовки, разрушению.

Для анализа предельных деформаций материала при листовой штамповке широко используются диаграммы предельного формоизменения (Forming Limit Diagram – FLD), которые устанавливают связь между компонентами главных деформаций в момент разрушения. В некоторых коммерческих пакетах конечно-элементного анализа, таких как PAM-STAMP или AutoForm, диаграммы предельного формоизменения используются как стандартный инструмент исследования деформированного состояния и прогнозирования дефектообразования.

Однако в коммерческих пакетах существуют известные ограничения на создание собственных моделей материалов, в том числе определяющих соотношений упругопластического тела и критериев предельного деформирования. Еще одной проблемой при использовании коммерческих вычислительных пакетов является необходимость приобретать лицензию. Кроме того, применение иностранного программного обеспечения в некоторых отраслях производства может быть недопустимо.

Поэтому, с одной стороны, есть потребность в совершенствовании численно-аналитических методов расчета предельных технологических возможностей с применением FLD-диаграмм, с целью их внедрения в пакеты прикладных программ. С другой стороны, необходимо разрабатывать методы расчета предельного деформированного состояния заготовок в процессе изготовления тонкостенных деталей, в том числе летательных аппаратов, которые не уступают в точности коммерческим вычислительным средствам, но могут быть свободно использованы в теоретических и прикладных расчетах. Поэтому тема исследования является актуальной.

Научная новизна

Научная новизна заключается в следующем:

- 1 Разработана усовершенствованная методика определения напряженно-деформированного состояния и основных технологических

параметров при изготовлении тонкостенных деталей летательных аппаратов вытяжкой, раздачей и обжимом.

2 Разработана усовершенствованная математическая модель упрочнения материала, учитывающая механические свойства металла, а также свойства кривой упрочнения.

3 Получены новые математические выражения, позволяющие аналитически построить кривые предельного деформирования на основе энергетических и геометрических (кинематических) критериев с учетом реальных механических характеристик материала, что позволяет значительно упростить использование FLD-диаграмм для определения предельных технологических возможностей процессов листовой штамповки при использовании численно-аналитических методов расчета.

4 Разработана усовершенствованная методика расчёта предельных технологических возможностей и прогнозирования дефектов при изготовлении тонкостенных деталей летательных аппаратов.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии методов определения напряженно-деформированного состояния и основных технологических параметров процессов листовой штамповки, а также в дальнейшем развитии теории предельного деформирования листовых заготовок.

Практическая значимость состоит в совершенствовании методов расчёта предельных технологических возможностей и прогнозирования дефектов процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов, что позволяет уменьшить затраты на экспериментальные и доводочные работы при производстве изделия и, в конечном итоге, повышает качество разработки технологического процесса и качество получаемой детали.

Степень обоснованности и достоверности результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается корректным использованием фундаментальных принципов теории обработки металлов давлением и теории пластичности. Принятые допущения обоснованы, математические методы исследования решаемых задач корректны. Теоретические расчеты диссертанта показывают удовлетворительное совпадение с опубликованными другими авторами экспериментальными результатами.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, общих выводов, списка литературы и материалов приложений. Работа изложена на 141 страницах машинописного текста, содержит 106 рисунков, 1 таблицу, список литературы из 106 наименований и 11 приложений на 64 страницах.

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

В **первой главе** дан конструкторско-технологический анализ объекта производства (летательного аппарата), проанализированы существующие способы изготовления тонкостенных деталей методами листовой штамповки и дефекты, возникающие в процессе изготовления этих деталей. Анализ литературных источников свидетельствует, что исследованию формообразующих операций листовой штамповки посвящено большое количество работ российских и зарубежных ученых и специалистов.

Во **второй главе** проведён анализ существующих математических моделей предельного деформирования и получены новые математические выражения, позволяющие значительно упростить использование FLD-диаграмм для численно-аналитических методов расчета предельных технологических возможностей процессов листовой штамповки.

На основе метода переменных параметров упругости построены математические модели технологических процессов штамповки тонкостенных деталей, таких как вытяжка, обжим, раздача, выворот внутрь и наружу. Изложена новая методика аппроксимации кривой упрочнения, позволяющая с большой точностью описать эту кривую аналитически, используя типовые справочные характеристики материалов и общие свойства кривой упрочнения для действительных напряжений.

В третьей главе приведены расчётно-экспериментальные исследования технологических процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов. Экспериментальные диаграммы растяжения и механические параметры для авиационных материалов брались из справочников ВИАМ. Проведены сравнения результатов с известными аналитическими решениями для идеально пластичного материала, а также сопоставление теоретических результатов определения предельных коэффициентов формоизменения с результатами опытных исследований других авторов.

В приложениях приведены программы построения диаграмм деформирования по типовым справочным характеристикам материалов, программы для определения напряжённо-деформированного состояния и предельных технологических возможностей для вытяжки и раздачи с применением FLD-диаграмм, реализованные в пакете MathCAD.

Замечания

1. В тексте работы автором сделаны выводы количественного характера, например, установлены погрешности определения предельных коэффициентов. Однако в разделе «Общие выводы» указаны только выводы общего характера, не содержащие никаких численных оценок.
2. В параграфе 3.2.2 приведены FLD-диаграммы, построенные для материала Д16М. Однако аппроксимации диаграмм истинных напряжений в параграфе 3.1 приведены для других материалов.

3. В диссертации уделено много внимания методике получения аналитического выражения для аппроксимирующих кривых диаграммы деформирования. Пункт 3 выводов по диссертации даже выделяет предложенную аппроксимацию кривой деформационного упрочнения как один из основных результатов. Поэтому вызывает недоумение, что аналитические выражения аппроксимаций для использованных в расчетах материалов не приведены в явном виде, хотя и показаны на графиках.

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

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

Предложенные модели расчета предельных деформаций, основанные на энергетических и геометрических (кинематических) критериях с учетом реальных механических характеристик материала, позволяют значительно упростить использование FLD-диаграмм для расчета предельных технологических возможностей процессов листовой штамповки при использовании численно-аналитических методов расчета.

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 Чжо Заяр Со заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Самолётостроения и эксплуатации авиационной техники», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», протокол заседания № 4 от 20 . 11 .2019 г.

Гусев Игорь Николаевич
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Самолётостроения
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