

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Чжо Зяяр 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 темы диссертации обосновывается необходимостью совершенствования численно-аналитических методов расчета предельных технологических возможностей процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов с применением FLD-диаграмм, а также необходимостью прогнозирования различных дефектов, возникающих при проведении этих процессов.

Научная новизна исследования заключается:

- в разработке усовершенствованной методики определения напряженно-деформированного состояния и основных технологических параметров при изготовлении тонкостенных деталей летательных аппаратов вытяжкой, а также раздачей и обжимом с учётом физической и геометрической нелинейности процессов;

- в создании уточнённой методики аппроксимации кривой упрочнения материала, учитывающей механические свойства металла, а также свойства кривой упрочнения;

- в получении новых математических выражений, позволяющих аналитически построить кривые предельного деформирования на основе энергетических и геометрических (кинематических) критериев с учетом реальных механических характеристик материала, что значительно упрощает использование FLD-диаграмм для определения предельных технологических возможностей процессов листовой штамповки;

- в разработке усовершенствованной методики расчёта предельных технологических возможностей и прогнозирования дефектов процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов.

Практической ценностью работы является совершенствование методов расчёта предельных технологических возможностей и прогнозирования дефектов в процессах изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов, что повышает качество разработки технологического процесса и, в конечном итоге, качество получаемых деталей.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность. В диссертационной работе автором проведен подробный анализ известных достижений и теоретических положений отечественных и зарубежных авторов. Все утверждения подтверждены ссылками на источники. Для подтверждения результатов и

выводов данного исследования диссертант приводит решения задач, проводит их сравнение и сопоставление с работами других авторов.

Результаты работы широко апробированы и основные результаты работы в достаточном объеме опубликованы в печати. По теме диссертации опубликовано девять печатных работ. В рецензируемых научных изданиях, рекомендуемого ВАК РФ перечня, опубликовано две статьи. Ещё две статьи опубликованы в изданиях, включённых в базу научного цитирования Scopus.

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

Рассмотрим содержание работы по разделам.

Во введении обоснована актуальность и дана оценка степени проработки темы исследования, определена цель и задачи исследования, научная новизна и практическая ценность работы, указаны применяемые методы исследований, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена конструктивному анализу тонкостенных деталей летательных аппаратов, проанализированы существующие способы изготовления этих деталей методами листовой штамповки и дефекты, возникающие в процессе их изготовления.

Проведён анализ методов расчета напряженно-деформированного состояния этих процессов и для повышения точности определения напряженно-деформированного состояния было предложено использовать метод переменных параметров упругости.

В заключительной части первой главы проведен анализ имеющихся методов расчета предельных деформаций, ограничиваемых разрушением заготовки под действием растягивающих напряжений, действующих в двух направлениях, что характерно для штамповки тонкостенных деталей.

Как показал анализ литературных источников, в настоящее время диаграммы предельного формоизменения (FLD-диаграммы) являются одним из наиболее точных инструментов прогнозирования дефектов в тонколистовом материале в процессе его деформирования.

Основным достоинством данной главы является достаточно подробный анализ существующих технологий и технологических процессов изготовления тонкостенных деталей, а также детальный анализ теоретических методов расчета предельных деформаций, основанных на энергетических и кинематических (геометрических) критериях предельного деформирования.

На основании выполненного анализа в данной главе проведено обобщение существующего опыта определения предельных технологических возможностей процессов листовой штамповки и обоснован вывод о необходимости проведения дополнительных исследований и разработок в этом направлении.

Во второй главе диссертации дано описание общей методики определения напряжённо-деформированного состояния таких процессов как, вытяжка, обжим и раздача. Подробно изложена методика аппроксимации кривой упрочнения, позволяющая с большой точностью описать эту кривую аналитически, учитывая механические характеристики материала и свойства кривых упрочнения. Это позволяет повысить точность расчета напряжённо-деформированного состояния.

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.

Сильной стороной второй главы является получение для основных критериев предельного деформирования, таких как энергетический и геометрический, простых алгебраических уравнений, позволяющих теоретически построить FLD-диаграммы при различных показателях деформационного упрочнения. При определении деформированного состояния заготовки, используя эти уравнения, можно довольно эффективно определить момент разрушения заготовки или возникновения дефекта.

Третья глава посвящена расчётно-экспериментальным исследованиям полученных теоретических положений и методик.

Для проверки точности аппроксимаций было проведено сопоставление кривых упрочнения, полученных экспериментально, с приближенными, полученными предлагаемым в диссертации методом аппроксимации. Экспериментальные данные для различных авиационных материалов брались из справочников Всесоюзного научно-исследовательского института авиационных материалов (ВИАМ). Как показали расчёты, максимальная погрешность результирующей аппроксимации для алюминиевых сплавов не превышает 8%, а для титановых сплавов – 3%.

Представлен порядок расчёта технологических процессов вытяжки и раздачи. Для проверки адекватности разработанных математических моделей, были проведены сравнения с известными замкнутыми аналитическими решениями для абсолютно пластического материала.

Проведены расчеты основных параметров и предельных технологических возможностей технологических процессов вытяжки и раздачи по различным критериям предельного деформирования.

Дано сопоставление теоретических результатов определения предельных коэффициентов формоизменения с результатами опытных исследований для различных алюминиевых и титановых сплавов для вытяжки и для различных алюминиевых и авиационных конструкционных сталей для раздачи.

Предельные экспериментальные показатели коэффициентов вытяжки и раздачи для различных алюминиевых и титановых сплавов брались из справочников Всесоюзного научно-исследовательского института авиационных материалов (ВИАМ), справочника по холодной штамповке

Рамановского В.П. и других, что позволяет судить о достоверности полученных результатов.

Сильной стороной третьей главы является то, что в процессе расчётно-экспериментальных исследований был получен ответ на вопрос, какие критерии предельного деформирования позволяют наиболее точно определить момент разрушения заготовки при проведении конкретного технологического процесса.

На мой взгляд, третья глава является наиболее удачным достижением автора диссертации и подтверждает сложность, научную новизну и практическую ценность работы автора.

В качестве **замечаний** по представленной диссертации можно отметить следующее:

1. В первой главе, при проведении анализа технологических процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов, сделан излишне подробный анализ некоторых технологических процессов, которые в дальнейшем не рассматриваются.

2. Из второй главы не понятно, какие исходные уравнения используются при получении алгебраических уравнений, позволяющих теоретически построить FLD-диаграммы при различных показателях деформационного упрочнения.

3. В третьей главе при сравнении полученных в работе расчетных результатов с экспериментальными были заимствованы результаты, опубликованные в различных справочниках, а самостоятельные экспериментальные исследования автором не приведены.

4. В диссертации в явном виде не решен вопрос, каким образом с применением FLD-диаграмм можно прогнозировать появление других дефектов, которые возникают без разрушения заготовки (гофры, складки, чрезмерное утонение и т.д.) при изготовлении тонкостенных деталей.

5. По работе в целом можно отметить ряд опечаток и редакционных неточностей в обозначениях. Так например: на стр.77 в формуле (2.52) отсутствует выражение для определения dP_2 ; деформация, соответствующая временному сопротивлению деформирования или началу образования шейки обозначается по разному, в одних формулах $e_{ин}$, в других e_B .

Однако указанные выше замечания не снижают научной и практической ценности диссертации.

Работа написана грамотно, стиль изложения - доказательный. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Заключение. Диссертация «Расчёт технологических возможностей процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов с применением диаграмм предельного формоизменения» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, направленную на разработку рациональных методик расчёта предельных технологических возможностей деформирования и прогнозирования дефектов, а также повышение точности анализа при

моделировании процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов.

Работа соответствует требованиям и критериям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 28.08.2017), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Чжо Заяр Со, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 - «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Подтверждаю своё согласие на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Чжо Заяр Со и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология производства летательных аппаратов» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Чумадин Анатолий Семёнович

Адрес организации: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, Московский авиационный институт.

Телефон: +7 499 158-43-33.

Электронная почта: mai@mai.ru

Подпись профессора Чумадина А.С. удостоверяю.

Инициалы