

## ОТЗЫВ

официального оппонента Кривенка Антона Александровича на диссертационную работу 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.**

Диаграммы предельного формоизменения в настоящее время широко используются для прогнозирования дефектов при исследовании процессов листовой штамповки. В авиастроении технология листовой штамповки применяется для изготовления большого количества тонкостенных деталей. Поэтому совершенствование и развитие численно-аналитических методов расчета предельных деформаций с использованием FLD-диаграмм, является актуальной задачей.

### **Оценка новизны.**

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

1. Разработана новая методика определения напряженно-деформированного состояния и основных технологических параметров при изготовлении тонкостенных деталей летательных аппаратов вытяжкой, раздачей и обжимом с учётом физической и геометрической нелинейности.
2. Разработана усовершенствованная математическая модель аппроксимации диаграммы деформирования материала на основе справочных данных.
3. Получены математические выражения, позволяющие аналитически построить кривые предельного деформирования на основе энергетических и геометрических (кинематических) критериев.
4. Разработана методика расчёта предельных технологических возможностей и прогнозирования дефектов процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов.

Новые результаты получены одновременно в двух областях исследований, сформулированных в паспорте специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов»:

1. в области «Технологическая подготовка производства объектов авиационной и ракетно-космической техники, включая: другие методы и средства разработки и осуществления технологических процессов производства»;

2. в области «Технологические процессы, специальное оборудование для изготовления деталей летательных аппаратов, включая технологию: изготовления деталей обработкой давлением (ковка, штамповка и др.)».

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность.**

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием в работе широко известных и зарекомендовавших себя методов теории пластичности и обработки металлов давлением. Все утверждения аргументированы и подтверждены ссылками на источники. Для подтверждения результатов и выводов данного исследования диссертант проводит сравнение и сопоставление с экспериментальными данными других авторов, получая удовлетворительное совпадение.

### **Теоретическая и практическая значимость.**

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методов определения напряженно-деформированного состояния с применением диаграмм предельного формоизменения, а также совершенствовании методов расчета предельных технологических возможностей процессов листовой штамповки тонкостенных деталей.

Практическая значимость диссертационного исследования связана с тем, что полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования дефектов в процессе производства тонкостенных деталей, в том числе в авиационной промышленности. Следовательно, полученные теоретические результаты могут способствовать сокращению экспериментальных и доводочных работ на стадии технологической подготовки производства.

### **Структура работы и основные научные результаты.**

Работа изложена на 141 страницах, содержит 106 рисунков, 1 таблицу. Список литературы состоит из 106 наименований. Расчеты приведены в 11 приложениях на 64 страницах. По своей структуре диссертация состоит из введения, трех глав, основных выводов и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе проведен анализ литературных источников по теме работы. Проанализированы особенности технологии производства летательных аппаратов, описаны основные технологические операции обработки металлов. Приведены основные методы расчета напряженно-деформированного состояния. Формулируются основные положения теории



предельного формоизменения, описана концепция диаграмм предельного формоизменения (FLD-диаграмм). Описание существующих способов построения кривых предельных деформаций, их недостатков и достоинств, сопутствующих моделей и критериев проведено корректно, с указанием авторов и источников.

Во второй главе приведена математическая модель технологических процессов штамповки тонкостенных деталей. Описан метод построения аппроксимирующих кривых для диаграмм деформирования. Сформулированы гипотезы и допущения, используемые при расчете и построении кривых предельного формоизменения тонкостенных заготовок при плоском напряженном состоянии по энергетическим и кинематическим критериям. Описаны алгоритмы расчета, предлагаемые автором, и проведено сравнение результатов с работами других авторов.

В третьей главе приведены результаты расчетов технологических процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов, выполненных по предлагаемым автором моделям. Оценивается точность построения диаграмм деформирования для некоторых конструкционных материалов. Определены предельные технологические возможности и основные параметры технологических процессов вытяжки и раздачи. Построены FLD-диаграммы Хилла-Свифта (энергетический критерий) и Сторена-Рейса (геометрический критерий) для определения предельных коэффициентов раздачи.

Полученные результаты сформулированы в виде 6 основных выводов.

### **Список вопросов и замечаний по диссертации и автореферату.**

При рассмотрении представленных в диссертации и автореферате материалов возникли следующие замечания.

1. В качестве цели диссертационного исследования указана «разработка рациональных методик расчёта предельных технологических возможностей...». Однако в дальнейшем в работе не раскрывается, что подразумевается под термином «рациональная методика». В общих выводах рациональность также не упоминается.

2. Не ясно, зачем в диссертации в параграфе 1.7 на стр. 51 продублированы цель и задачи работы, уже сформулированные во введении на стр. 8.

3. Почему  $\sigma_z$  названо напряжением по толщине, а  $\varepsilon_z$  — относительной деформацией по толщине (стр. 131)?

4. На стр. 131 истинная (логарифмическое) деформация ошибочно определяется через десятичный логарифм.

5. На стр. 130 для величины  $S$  указано определение «истинное напряжение в образце при испытании на разрыв», лишенное смысла. В работе величины  $S$  обозначает толщину.

6. Непонятно, зачем введено обозначение интенсивности напряжений  $\sigma_i$ , если для него всюду используется  $\sigma_s$ ?

7. Некоторая небрежность в выборе обозначений затрудняет чтение диссертации. Например, что в условии пластичности Губера-Мизеса (2.41) обозначено  $\sigma_s$ ? Судя по смыслу определения данного условия пластичности, это должно быть напряжение текучести, а не интенсивность истинных напряжений.

8. В работе не приводятся никакие количественные оценки сравнения эффективности полученных автором результатов с результатами других авторов.

Указанные вопросы и замечания не снижают общее положительное впечатление от диссертационной работы.

### **Заключение**

Несмотря на отмеченные недостатки и замечания, представленная диссертация Чжо Зяяр Со «Расчёт технологических возможностей процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов с применением диаграмм предельного формоизменения» выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу.

Две публикации автора входят в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. Еще две публикации проиндексированы в базе данных Scopus. Работа прошла апробацию на российских и международных конференциях.

Публикации и автореферат полностью отражают основное содержание диссертации и соответствуют ему. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа «Расчёт технологических возможностей процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов с применением диаграмм предельного формоизменения» удовлетворяет критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением



Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 01.10.2018) , в том числе п.9, поскольку в ней предложены новые научно обоснованные модели и методы расчетов, позволяющие повысить качество проектирования технологических процессов изготовления тонкостенных деталей летательных аппаратов.

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

Официальный оппонент – кандидат технических наук (специальность 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов»), ведущий инженер научно-производственного бюро управления технического развития филиала ПАО «Компания «Сухой» «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина»

Антон Александрович Кривенко

Адрес организации:

681018, Россия, Хабаровский край,

г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Советская, д.1.

Тел.: +7 (4217) 52-62-00, 22-85-25

Факс: +7 (4217) 52-64-51, 22-98-51

Телефон: +7 499 158-43-33

Электронная почта: info@knaaz.org

Веб-сайт: www.knaaz.org, www.knaaz.su

Подпись Кривенко А.А. удостоверяю

Начальник ОК

М.В. Демченко