

ОТЗЫВ

официального оппонента диссертации ХЕЙН ВИН ЗО «Повышение эффективности технологических процессов формообразования трубных заготовок при изготовлении деталей летательных аппаратов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.02 – проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов

Актуальность темы исследования. Совершенствование технологических операций производства элементов конструкций летательных аппаратов и их сборок на стадии заготовительного производства является важнейшим резервом обеспечения повышенных функциональных качеств изделий, их прочностной надежности в условиях длительной эксплуатации. Одновременно на таком пути оказываются возможными снижение трудоемкости производства, экономия в материалах, повышение производительности труда. Все отмечаемое в полной мере относится к обсуждаемым в рассматриваемой диссертации технологиям изготовления деталей трубопроводов летательных аппаратов из трубных заготовок. Как раз применительно к летательным аппаратам прочностные параметры и параметры надежности изделий играют первостепенную роль, поскольку отказ в слаженной работе трубопровода из-за механических нарушений и нарушения герметичности в его системе неизбежно приводит к катастрофическому событию. Но со всей определенностью следует констатировать, что данные параметры формируются напрямую согласно технологическим параметрам процесса изготовления соответствующих деталей и узлов трубопровода, являясь, по-существу, функционалами подобных процессов. Следовательно, роль оптимизации режимов изготовления деталей и сборки узлов в условиях заготовительного производства возрастает еще более, так как функциональные и прочностные

воздействия на них (в задании краевых условий), в моделировании отклика параметров деформирования на температурные изменения во время протекания процесса формоизменения и др.

Автор по умолчанию, вслед за предшественниками, отказывается от модельного учета обратимых (упругих) деформаций, при этом достаточно подробно и, по-моему, убедительно, выделяя для этого самостоятельный параграф, аргументирует возможность не учитывать необратимую сжимаемость. Учитывать упрочнение материала в процессе пластического течения предлагается нелинейной зависимостью, получаемой опытным путем в условиях одноосного растяжения образцов и ее гипотетическим принятием на основе гипотезы единой кривой для сложного нагружения. Этот путь является традиционно упрощающим связь «напряжения – скорость деформаций» и со ссылками на предшествующие работы принимается автором.

Опираясь на литературные сведения о благотворном влиянии электроимпульсной обработки титановых сплавов на их пластические свойства и, следовательно, на возможность их значительного формоизменения без разрушений, автор принимает к изучению такое воздействие в технологиях раздачи трубных заготовок. Данный вывод подкрепляется еще и результатами специально проведенной для этой цели серией экспериментов. Таким же способом и на такой же основе предлагается способ совершенствования технологий с использованием в качестве передающей усилия среды с упругими свойствами и допускающей при этом значительные объемные деформации. По терминологии автора это эластосыпучие среды. Указываются факторы, способные положительным образом сказаться на технологический процесс, а также нежелательные явления, которые могут при этом сопутствовать. Таким способом определяются задачи предпринимаемого исследования.

В данной же главе анонсируются технологические операции и устройства для их осуществления, включая оригинальные, которые

предполагается рассмотреть в диссертации и рекомендовать по результатам их всестороннего исследования в производство.

Вторая глава диссертации посвящена описанию используемых методов расчета напряженно-деформированных состояний, сопровождающих процессы необратимого деформирования трубных заготовок. Наиболее охватывающий метод, где учитываются и трение заготовки о недеформируемый пуансон, и разогрев за счет трения и необратимого деформирования демонстрируется на примере формообразования по жесткому пуансону. В рамках теории течения упрочняющегося пластического тела, пренебрегая обратимыми деформациями, решается связанная задача термопластичности. Характер закона упрочнения, как уже отмечалось, задается на основании опытов в условиях одноосного напряженного состояния. Вычислительная сложность задачи потребовала специального сеточного метода расчетов. Несмотря на то, что основания алгоритма расчетов здесь были заимствованы, его адаптацию к условиям конкретной связанной краевой задачи с организацией итерационных процедур следует считать достоянием диссертационной работы.

Приближенный инженерный метод расчета проиллюстрирован на процессе ротационного обжима и раскатки. Основные допущения связаны с не учетом температурных изменений, обратимых деформаций, необратимого объемного деформирования. Энергетический баланс связан с упрощающей гипотезой, что вся работа внешних сил расходуется на формоизменение и преодоление трения. Впрочем, последнее в конечных соотношениях также предполагается не учитывать. Упрочнение считается линейным. Такой метод расчета заслуживает, несмотря на его приближенный характер, своего права на использование, поскольку в условиях усложненной геометрии задачи позволяет существенно упростить вычисления и получить оценочные результаты.

В данной же главе формулируется математическая модель для сыпучих сред в качестве варианта упругой среды, по разному сопротивляющейся

растяжению и сжатию. Упругий потенциал выбирается таким способом, чтобы связь напряжений с деформациями зависела от вида деформированного состояния. Удивительно, что предельной поверхностью в пространстве главных напряжений оказывается коническая поверхность Мизеса-Шлейхера, которую и предлагается принять в качестве поверхности нагружения.

В третьей главе диссертации на основании ранее описанных теоретических методов проводится исследование назначаемых технологий необратимого деформирования трубных заготовок. Выбираются и задаются параметры процесса, а там где их недостает, они определяются направленными опытами, проводятся расчеты и формулируются по их результатам необходимые выводы.

Для технологии раздачи по жесткому пуансону изучается влияние теплоотдачи от заготовки в пуансон, трения на контактных поверхностях, геометрии пуансона. Для этого проведены специальные серии расчетов, результаты которых с достаточной степенью подробности проиллюстрированы. Выводы, сделанные на основе расчетов непротиворечивы и полезны для задания режимов в практике использования технологии.

Аналогичные качественные выводы делаются в соответствии с расчетными данными в технологиях раскатки, ротационной вытяжки и продольной прокатки. Целый ряд допущений, сводящих расчеты по существу к инженерным, не умаляет их достоинства, поскольку получить результаты без таких допущений чрезвычайно затруднительно. Полагаю, что как раз введение упрощающих положений следует отнести к достоинствам работы. Их формулировка с последующей оценкой невозможна без соответствующей квалификации автора.

Гораздо сложнее оценить результаты расчетного прогнозирования в технологиях создания отводов в трубных заготовках. Несмотря на то, что описание таких расчетов занимает наибольший объем в третьей главе,

свойства трубопровода в целом существенно задаются именно данными режимами. Таким образом, актуальность темы предпринятого исследования, составившего настоящую диссертацию сомнений не вызывает.

Анализ текста диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав основного текста, итоговых выводов, списка литературных источников и приложений. Основной текст диссертации размещен на 388 страницах, содержит 259 рисунков и 70 таблиц. Список литературных источников составляет 214 наименований.

Во введении достаточно подробно обсуждается актуальность предприняемого исследования, формулируется цель исследования и очерчивается круг задач, который при этом следует разрешить, обсуждаются методы решения ставящихся задач, кратко анонсируется содержание диссертации по главам и приводятся некоторые из полученных результатов в части их практического использования. Впечатляет масштаб апробации результатов диссертации на представительных научных и инженерных форумах в стране и за рубежом.

Первая глава диссертации носит вводный в задачи исследования характер. Основное внимание в ней уделено существующим технологическим приемам изготовления элементов трубопроводов способом раздачи трубных заготовок. Именно совершенствованию подобных технологий посвящено исследование, составившее обсуждаемую диссертационную работу. Следуя проведенному литературному обзору с опорой на собственные опытные данные, делаются качественные выводы о факторах, оказывающих наиболее существенное влияние как на собственно процесс необратимого деформирования, так и на качество итоговых конструктивных элементов трубопроводов. Одним из важнейших таких факторов является адекватность расчетного прогнозирования результатов технологических операций. Данное прогнозирование с необходимостью основывается на допущениях в механических свойствах материалов, значительно и необратимо меняющих свою форму, в задании силового

приводятся многочисленные графические результаты, расчетно полученные согласно программному продукту, основанному на методе конечных элементов, вопросы остаются. Тестирование программ расчетов осуществляется на задаче Прандтля и ее соответствующих обобщениях. Но решение Прандтля получено для случая пластической несжимаемости среды, что в данном случае принципиально неприемлемо. Указаний на то, что в качестве поверхности нагружения используется в таком случае конус Мизеса-Шлейхера или пирамида Кулона-Мора, как это было заявлено во второй главе, отсутствует. Тогда как же проводились расчеты? Что закладывалось в основание алгоритма, строящегося по методу конечных элементов? Каким образом это сочетается с методом верхней оценки?

Для продекларируемых целей диссертации четвертая глава является основной. Именно в данной главе предлагаются конкретные средства оптимизации режимов технологических операций в условиях разных материалов трубных заготовок, оснастки, смазки и др. С опорой на предварительные расчеты обсуждаются необходимые эксперименты и полученные таким способом результаты, даются по этим результатам рекомендации. Важно, что такие рекомендации сугубо конкретные для изучаемых технологий. Для целей избежания возможной пагубности интенсивного формоизменения материалов в технологических процессах на их прочностные свойства в готовых изделиях приводятся исчерпывающиеся сведения по результатам серий направленных экспериментов. Подобные эксперименты были направлены на измерение итоговых прочностных и деформационных параметров: пределов прочности и пластичности, микротвердости, трещиностойкости, геометрических неправильностей. Специально изучается итоговая структура и химический состав продеформированных материалов и даже приводятся испытания на вибропрочность. Проведенные опытные испытания с достаточной степенью определенности убеждают в работоспособности изучаемых технологий, в

перспективности предлагаемых способов обработки трубных заготовок, в надежности рекомендуемых ограничений.

Последняя пятая глава диссертации является итоговой. Здесь обсуждается технологическая обустроенность предлагаемых технологий, выбор последовательности технологических операций по подготовке изделий, оснастки, способам комплектования последней, сборки деталей трубопровода. Рекомендуемые операции, выбор технологических параметров подтверждается расчетными и опытными данными. Указаны особенности технологических приемов по производству изделий из трубных заготовок, выявленные при опытном внедрении предлагаемых технологий в производство.

Общий анализ диссертации

Переходя к общему заключению по диссертационной работе прежде всего отмечаю, что проделана объемная, квалифицированная исследовательская работа, в которой:

- на основе теоретических, включая вычислительные, и экспериментальных исследований предложены способы совершенствования имеющихся и разработаны новые технологии изготовления элементов трубопроводов летательных аппаратов посредством необратимого деформирования трубных заготовок;

- тщательно изучены факторы, интенсифицирующие технологические процессы, такие как дополнительное температурное воздействие, электроимпульсная эмиссия, снижение трения за счет смазки, оптимальное конструирование оснастки, выбор эластично сыпучей среды и др.;

- указаны пути повышения технологичности в исследуемых операциях;

- сформулированы достаточно конкретные рекомендации по обустройству технологий и проведения процесса раздачи трубных заготовок.

Целый ряд сформулированных положений и рекомендаций являются новыми и задают направления развития в технологиях производства деталей трубопроводов.

Достоверность результатов диссертации обеспечивается непротиворечивостью в использовании классических подходов технологической пластичности и фундаментальной механики деформирования в целом, использованием выверенных численных методов, всесторонней экспериментальной проверкой принимаемых теоретических положений и закономерностей, многократной проверкой работоспособности технологических операций.

Практическая значимость результатов диссертации несомненна, поскольку направлена на разрешение важной практической задачи самолетостроения, связанной с надежностью летательных аппаратов в части избежания отказов трубопроводных систем.

Теоретическое значение результатов диссертационной работы связывается с перспективами дальнейшего совершенствования технологий, включая вновь создаваемые. Ряд теоретических предложений диссертации вполне могут этому поспособствовать.

Ряд замечаний был указан при анализе текста диссертации, здесь их повторим:

1. В технологиях раздачи трубной заготовки по жесткому пуансону выводы строятся на основе решения связанной задачи термопластичности. На основании численного решения данной задачи формулируется предложение о расширении температурного диапазона вплоть до 850 °С. Не скажется ли существенно в таком случае зависимость предела текучести от температуры? Данный вопрос о работе не затрагивается.

2. Из текста диссертации (да и из текстового кода программы в приложении) не ясно, на какой теоретической основе строится алгоритм метода конечных элементов в технологиях, использующих эластосыпучие среды. В выводах фигурируют константы Муни-Ривлина, а в тексте соответствующий потенциал не используется. Надеюсь, что в условиях защиты диссертации получить ответы на эти вопросы.

3. Текст диссертации мог бы более тщательно отредактирован автором. Имеются опечатки, повторы и др.

Отмеченные недостатки, часть которых связана с возможным недопониманием существа принимаемого из-за небрежного их описания, носят характер пожеланий и не влияют на положительный вывод о диссертации. Прделана значительная исследовательская работа с ясной целью и выдачей конкретных рекомендаций, согласно которым технологии раздачи и обжима трубных заготовок могут быть целенаправленно усовершенствованы, а безотказность работы систем трубопроводов летательных аппаратов повысит свой ресурс.

Диссертационная работа Хейн Вин Зо «Повышение эффективности технологических процессов формообразования трубных заготовок при изготовлении деталей летательных аппаратов» удовлетворяет требованиям Постановления Правительства РФ о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.02 – проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

Член-корреспондент РАН,
доктор физико-математических наук, профессор,
директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
машиноведения и металлургии Дальневосточного
отделения Российской академии наук (ИМиМ ДВО РАН),
681005, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Металлургов,
д. 1, тел./факс (4217) 549539, e-mail: mail@imim.ru

Анатолий Александрович Буренин