

Секция 19

**Производство конструкций
ракетно-космической техники****НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОПИТКИ СТЕКЛОКАПРОНОПРОШИВНЫХ
ЗАГОТОВОК ПОЛИМЕРНЫМ СВЯЗУЮЩИМ С ВЫСОКИМ
СОДЕРЖАНИЕМ РАСТВОРИТЕЛЯ**

*В.А.Романенков, А.И.Терехин, Л.Н.Кузнецова, В.Д.Котенко,
В.В.Абразумов, И.В.Сапожников*

(ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия»,

Московский государственный университет леса)

Vladimir.Romanenkov@rsce.ru

Стеклокапронопрошивные заготовки, используемые для изготовления теплозащитных покрытий, должны содержать 35...50% по массе полимера. Пропитка таких полотен в открытых ваннах связующим с высоким содержанием растворителя (40...50% по массе) до достижения требуемого содержания полимера является длительным технологическим процессом.

Применение способа инфузии для ускорения пропитки не приводит к требуемым результатам.

Проведены экспериментальные работы на опытных установках, которые показали, что существенное сокращение длительности процесса пропитки с обеспечением требуемого содержания полимера в заготовках достигается при многократной вакуумной пропитке и сушке.

Процесс пропитки и сушки проводится в герметичной форме с устройствами, позволяющими контролировать массу связующего в заготовке, массу удаляемого растворителя, содержание полимера в заготовке, что обеспечивает управляемость процессом пропитки.

Пропитка заготовки связующим осуществляется по следующему циклу. Вначале производится вакуумирование формы, в которую помещена заготовка, и вакуумное вливание в заготовку части связующего. Проводится 1-я вакуумная сушка, в процессе которой из связующего частично или полностью удаляется растворитель. Затем осуществляется

2-е вакуумное вливание оставшейся части связующего; в форме на некоторое время создается избыточное давление, после чего производится окончательная вакуумная сушка или сушка в открытой форме. Вакуумное вливание и сушку можно проводить за большее количество циклов до достижения требуемого содержания полимера в заготовке. Такая технология обеспечивает полное замещение полимером воздуха в порах и капиллярах заготовки.

Математическая модель, разработанная для описания данного процесса пропитки, позволяет рассчитать все необходимые технологические параметры: количество связующего, требуемого для пропитки заготовки, количество удаляемого при вакуумной сушке растворителя, количество циклов вакуумной пропитки и сушки и др.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАСТРУЙНОЙ ДИАГНОСТИКИ
ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
МАТЕРИАЛА ДЕТАЛЕЙ РКТ**

М.И. Абашин

(МГТУ им.Н.Э.Баумана)

texhelp@list.ru

Операции испытаний и контроля при производстве изделий ракетно-космической техники (РКТ) являются важнейшей частью производственного процесса и занимают существенную часть времени, поэтому, ускорение и упрощение этих операций является актуальной задачей современного ракетостроения. В связи с этим, широкое распространение получили экспресс-методы контроля, сочетающие в себе некий вид технологического воздействия (лазерное, электрохимическое и др.) с параллельной или последовательной фиксацией параметров этого воздействия – так называемых диагностических признаков, по которым можно судить о тех или иных свойствах контролируемого изделия.

В качестве такого рода воздействия предлагается использовать сверхскоростную струю воды, обладающую рядом преимуществ в качестве основы аппарата ультразвуковой диагностики (УСД). Суть УСД заключается в следующем: на объект исследования оказывается воздействие сверхскоростной струей жидкости, вызывающее гидроэрозионное разрушение, затем оцениваются параметры этого воздействия и сравниваются с эталонными, полученными ранее в результате модельных экспериментов, после чего делается вывод о состоянии данного объекта.

С целью подтверждения результативности применения данного вида воздействия был проведен ряд экспериментов, направленных на установление связи параметров гидроэрозионного разрушения и параметров качества изделия, в частности, поврежденности материала.

Была установлена связь числа циклов нагружения образца при испытаниях на усталость и параметрами гидроэрозионного разрушения, аналогичная связь была установлена и для случая термо-механического нагружения. Проведенный анализ методом экспертного оценивания указывает на перспективность данной технологии оценки параметров качества материала изделий. В результате проведенной работы была разработана инженерная методика оценки параметров качества поверхностного слоя материала деталей и выработаны рекомендации по проведению процесса УСД.

АЛГОРИТМЫ КОНТРОЛЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ С РЕАЛЬНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Л.А. Кашуба

(МГТУ им.Н.Э. Баумана)

Leonid-ak@mail.ru

Формализация представления реальной геометрии деталей, позволила разработать алгоритмы обработки измерительной информации для координатно-измерительных машин (КИМ) и алгоритм моделирования реальной геометрии детали .

Первый алгоритм построен на основе номинальной геометрии детали, сохранённой в системе обработки измерительной информации, и координат точек реальных поверхностей, измеренных в системе координат системы измерения КИМ. Отклонения формы реальных поверхностей детали определяются по двум компонентам: эквидистантному смещению и искривлению реальной поверхности, аналогичному по смыслу волнистости, а отклонение расположения определяются также по двум компонентам: смещению системы координат реальной поверхности относительно системы координат номинальной, и повороту системы координат реальной поверхности в системе координат базы.

Разработанный алгоритм приемлем для любых форм номинальных поверхностей, ограничивающих объём деталей.

Второй алгоритм построен на моделировании партии деталей со случайными поверхностями. Всю совокупность деталей партии можно анализировать на основе обработки результатов стохастического моде-

лирования их случайных реализаций по параметрам детерминированной модели. Основой моделирования реальной геометрии деталей является номинальная геометрия всех поверхностей в системе координат базы. Номинальные поверхности могут быть представлены в номинальной системе координат проектом сеткой uv линий и узлов.

Детерминированная модель отклонения формы поверхности, выполненной одним технологическим методом, сводится к эквидистантному (систематическому) смещению номинальной поверхности и случайному искривлению номинальной поверхности, аналогичному по смыслу шероховатости и волнистости. Детерминированная модель отклонения расположения сводится к смещению и развороту системы координат реальной поверхности относительно номинального положения, описываемом 6-ю случайными параметрами: модулем радиус-вектора R_{10} смещения, углами ω , φ , α , β и γ сферической системы координат УГП.

Поля допусков аргументов моделей ограничивают пространство расположения реальной поверхности между эквидистантами к номинальной поверхности, проведенными по минимальной и максимальной границам отклонения формы реальной поверхности, а смещения и поворот системы координат – предельные отклонения реальной поверхности относительно номинального положения. Процедуру моделирования одной реализации всех поверхностей детали можно провести относительно номинальной геометрии детали в системе координат произвольно расположенной базы.

В современных CAD системах может быть проведён расчёт всех геометрических параметров и геометрии масс детали с реальными поверхностями.

Выбор законов распределения входных параметров детерминированных моделей при стохастическом моделировании, обеспечивающих «оценку сверху» максимального интервала рассеяния выходных параметров детали, осуществляется в соответствии с теоремами К Шеннона.

Число реализаций, соответствующих доверительному интервалу рассеивания выходных параметров детали и статистической надёжности при стохастическом моделировании наиболее эффективно определять с помощью непараметрических толерантных интервалов.

Разработанный алгоритм позволяет определить влияние полей допусков аргументов моделей реальных поверхностей и деталей на границы отклонений выходных параметров партии деталей.

**ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ШТАНГИ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА ДЛЯ
ГЕОФИЗИЧЕСКОГО СПУТНИКА**

Ю.В Ермакова

(МГТУ им. Н.Э. Баумана, ФГУП НПП ВНИИЭМ)

Julia555_90@mail.ru

Солнечные вспышки и другие нестационарные процессы солнечной активности вызывают постоянную изменчивость геомагнитного поля Земли и ее ионосферы. Ионосферные бури и возмущения необходимо тщательно отслеживать, а так же прогнозировать будущие изменения в ионосфере Земли. Помимо этого, знание характеристик ионосферы необходимо для успешной и качественной радиосвязи.

Для исследования процессов, происходящих в ионосфере, в ФГУП НПП ВНИИЭМ проводится разработка космического аппарата (КА) «Ионосфера». В состав КА входит штанга НВК (низкочастотный волновой комплекс). Штанга предназначена для перемещения установленных на ней приборов, исследующих космическое пространство, из транспортного положения в зону их эксплуатации при штатной работе спутника.

Штанга НВК должна быть такой протяженностью, что бы устройства (магнитный, электрический и другие датчики) не влияли на работу приборов, расположенных непосредственно на корпусе спутника. Для компактности в транспортном положении штанга НВК составлена из нескольких трубок и вилок. В качестве материалов штанги выбраны:

- для трубок – углеродный жгут и эпоксидная матрица;
- для вилок, являющихся законцовками трубок - Амгб ГОСТ 4784 – 97;

Габаритные размеры в сложенном положении 1,1х0,2х0,15 м, габаритные размеры в раскрытом положении 3,2х1,5х0,15 м. Масса - 3,5 кг. Автором разработана технология сборки штанги НВК, которая состоит из следующих основных операций:

- склеивание (с использованием специального приспособления для сборки и склеивания);
- слесарные работы;
- монтаж;
- испытательные работы (испытание образцов - свидетелей с использованием разрывной машины);

- контрольные операции.

Контроль проводится после каждой операции на соответствие чертежу и требованиям к нему. В настоящее время разрабатывается технологическое оснащение для сборки, склеивания и контроля штанги НВК.

ИЗУЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СБОРОЧНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ КОСМОДРОМА

Сянь Фэн, Дун Вэйдун

(Китайская Академия Космической Техники)

xian_1970@126.com

Сборочно-испытательные сооружения являются одними из наиболее важных и ответственных элементов космодрома. Большой объем работ осуществляется в этом сооружении, требования к проектированию таких зданий влияют как на процесс сборки и испытаний КА, так и непосредственно на успех его запуска.

В статье описываются основы и принципы проектирования здания данного назначения, некоторые требования для его проектирования, в частности площадь застройки, возможности поддержки здания на заданном техническом уровне, техническое обслуживание и др.

В статье обсуждается, как соотносить технические показатели КА с характеристиками сборочно-испытательного сооружения. Это предполагается делать с помощью инженерного анализа и практической разработки дизайна сооружения. При этом целесообразно учитывать специфику и обеспечивать удовлетворение совокупности потребностей при подготовке к запуску КА, а также принимать во внимание тенденции развития космонавтики. Этот метод является методом инженерного анализа, он основан на разработке требований к космодрому с учетом будущего его развития. Целью является создание дизайна имеющего эталонное значение.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ МКА

Ю.В.Кучина, П.В. Круглов, М.П.Ананьев, Н.А.Ивлев, С.О. Карпенко
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, ГКНПЦ им.Хруничева, ИТЦ СканЭкс)

cm12@sm.bmstu.ru

В ракетно-космической отрасли актуальными вопросами при проектировании и эксплуатации космического изделия являются оптимизация и минимизация расходов. Решение этих задач предполагает на

стадии начального проектирования оценку реализуемости, эффективности и работоспособности систем летательного аппарата. Широкий круг проблем обороноспособности и народного хозяйства страны может быть успешно решён малыми космическими аппаратами (МКА). Одной из важнейших систем спутников является система ориентации и стабилизации (СОС). Для МКА эти системы имеют значительную стоимость, они сложны в наземной отработке, а их отказ приводит к потере спутника и невыполнению целевых задач. Для автономной функциональной отработки и комплексных функциональных испытаний СОС в составе изделия необходимо создание лабораторного стенда, имитирующего условия эксплуатации датчиков и исполнительных органов СОС на орбите.

В качестве характерного примера был использован МКА «Бауманец-2» и его СОС. Для её автономной функциональной отработки и комплексных функциональных испытаний в составе изделия был спроектирован стенд. Данный стенд обеспечивает:

- моделирование магнитного поля Земли и усиленного магнитного поля Земли в объёме, необходимом для работы магнитометра и электромагнитных устройств в составе изделия и автономно;
- обезвешивание МКА по трём осям;
- имитацию Солнца для солнечных датчиков МКА;
- независимую систему контроля работоспособности СОС;
- автономную систему проверки работоспособности стенда.

При разработке стенда была проведена оценка размеров потребной зоны однородности магнитного поля. Исследовано влияние технологических несовершенств на показатели работоспособности стенда. Минимизируя энергопотребление и габариты стенда, повышая его технологичность, спроектирована конструкция магнитных катушек стенда. Оценена необходимая грузоподъёмность аэродинамического подвеса и из ряда серийных изделий фирмы выбран соответствующий. Разработана конструкция универсального адаптера для установки МКА и элементов СОС на стенде. Выбран имитатор Солнца и место его установки. Спроектирована система датчиков независимой системы контроля работоспособности стенда.

Полученные в ходе проектирования результаты, позволяют сделать заключение о технической возможности и экономической целесообразности создания настоящего стенда.

**УСЛОВИЯ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ
ОТСТУПЛЕНИИ ОТ ЗАКОНА «СИНУСА»**

А.С. Чумадин, Л.П. Логунов
(МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского)
chumadinas@mati.ru

В летательных аппаратах широко применяются осесимметричные тонкостенные детали, имеющие сферическую, коническую, торовую и иные поверхности. Эти детали являются элементами топливных баков, обтекателей и других узлов ЛА. Одним из эффективных способов изготовления деталей указанного класса является ротационная вытяжка, однако недостаточная изученность этого процесса ограничивает его использование. Основное ограничение связано с тем, что толщина получаемой детали зависит от толщины исходной заготовки и угла конусности раскатной оправки. Отступление от этого закона, так называемого закона «синуса», приводит к потере устойчивости периферийных (фланцевых) частей заготовки и последующему разрушению заготовки под давящим роликом.

Целью работы являлось определение условий ротационной вытяжки листовых заготовок с некоторым отступлением от закона «синуса», что в конечном итоге может привести к увеличению номенклатуры изготавливаемых деталей или уменьшит число операций и переходов при изготовлении деталей традиционными методами.

Задача решалась следующим образом.

1. Определена связь между перемещениями нижней границы периферии заготовки и величинами переутонения и недоутонения стенки заготовки по сравнению с законом «синуса» при ротационной вытяжке. Эта зависимость получена в дифференциальном виде, что дает возможность ее использования при любом законе распределения толщины стенки получаемой детали.

2. Определены напряжения на нижней границе периферии заготовки при условии, что фланец не теряет устойчивости, если эта нижняя граница перемещается в ту или иную сторону.

3. Определена работа внешних сил, вызывающая перемещения нижней границы периферии без потери устойчивости фланца.

4. Определена работа внутренних сил, если происходит потеря устойчивости фланца в виде радиальных гофров при недоутонении стенки.

5. Определена работа внутренних сил, если происходит потеря устойчивости фланца в виде кольцевого гофра при переутонении стенки.

6. Приравнивая работы внешних и внутренних сил, получены предельные величины перемещений нижней границы периферии заготовки, когда образование значимого дефекта энергетически невозможно.

7. Сравнивая перемещения нижней границы периферии фланца в результате отступления от закона «синуса» и предельные величины перемещений, устанавливается поле возможных перемещений по ходу процесса ротационной вытяжки (по времени).

Экспериментальные исследования в целом подтверждают результаты теоретической работы.

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДА ОБЖИМА КЛЕММ В СОЕДИНЕНИИ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРОВОДАМИ

А.И. Селиверстов

(МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского)

ershovvi@mati.ru

Механические неразъемные соединения нашли широкое применение в различных изделиях машиностроения. В первую очередь это относится к соединению электрических проводов с клеммами. От надежной работы контактных соединений зависит в конечном итоге надежность и безотказность работы изделия. Известно, что аварийность в электрических сетях из-за нарушения работы контактных соединений составляет до 10% от общего числа аварий. Основными причинами отказов чаще всего являются некачественная пайка. Методы обжима (опрессования) клеммы с электрическим проводом в настоящее время считается наиболее перспективными. Они имеют перед пайкой определенные преимущества в производительности, повышении надежности соединения, отсутствии дорогостоящих припоев и др.

Такие соединения получаются путем обжима трубчатой части наконечника клеммы с введенной в него жилой провода. В результате обжатия окисные пленки в зоне контакта в значительной степени разрушаются, что приводит к контакту «чистых» металлических поверхностей со взаимной диффузией металлов. Это обеспечивает необходимую прочность механического соединения и низкое электрическое сопротивление.

Однако технологические возможности обжима наконечника клеммы исследованы еще не в полной мере. Это относится главным образом к процессам неосесимметричного обжима (опрессования), который все больше применяется в этих процессах.

В связи с этим исследование технологии получения контактных соединений неосесимметричным обжимом трубчатого наконечника клеммы остается актуальной задачей.

В работе были решены следующие задачи:

- проведен теоретический анализ процесса неосесимметричного обжима трубчатого наконечника клеммы;
- определены оптимальные параметры процесса обжима;
- разработан метод расчета энергосиловых параметров процесса;
- разработан метод оценки остаточных деформаций и напряжений в зоне контакта наконечника клеммы и провода.

При этом были впервые исследованы:

- условия образования складки при обжиме (опрессовании) наконечника клеммы;
- влияние скоростного нагружения при обжиме;
- влияние упругих характеристик жилы кабеля на величины остаточных деформаций и напряжений в зоне их соединения.

Проведенные исследования позволили сформулировать практические рекомендации для осуществления процесса обжима, особенностей проектирования и конструкции технологической оснастки и выбора оборудования.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ИЗОГНУТОЙ ТРУБЫ

А.С.Чумадин, Е.С.Шемонаева
(МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского)
shemonaevaes@mati.ru

Тонкостенные детали имеют широкое применение во всех отраслях машиностроения ввиду высоких эксплуатационно-прочностных и весовых качеств. Производство тонкостенных деталей сложных форм типа крутоизогнутый патрубок является одной из самых интересных задач.

В настоящее время такие детали изготавливают при помощи сварки двух полупатрубков, получаемых штамповкой на листоштамповоч-

ных молотах. Крутоизогнутый патрубок, получаемый таким способом, обладает избыточной массой за счет сварного шва (привес около 20%), кроме того трудоемкость его изготовления достаточно высокая из-за большой доли доводочных работ.

Поэтому целесообразно рассмотреть возможность получения цельноштампованных деталей типа крутоизогнутый патрубок при помощи формовки предварительно изогнутых труб равномерным давлением деформирующей среды.

В работе проводятся теоретические исследования этого процесса.

Анализируется метод расчета распределения толщины стенки по радиусу получаемой детали с применением численного интегрирования дифференциального уравнения. Задача решается без учета контактного трения о поверхность матрицы. Процесс считается приближенно монотонным.

При моделировании процесса формовки изогнутой трубы равномерным давлением деформирующей среды заготовка изначально размечается на кольцевые элементы с заданным шагом. Объем размеченных кольцевых элементов заготовки остается постоянным для тех же кольцевых элементов получаемой детали.

Граничные условия выбираются путем итерации. Подбор идет до тех пор, пока поля напряжений и деформаций не станут симметричными относительно плоскости симметрии. Форма заготовки в промежуточном состоянии принимается в форме окружности. Решения для различных условий были представлены в виде эпюр распределения толщины стенки трубы в зависимости от начального расположения заготовки.

В конечном итоге место установки заготовки в матрице влияет на дальнейшее течение процесса, а соответственно и на распределение толщины по радиусу получаемой детали. Наиболее благоприятным будет являться место заготовки у ближнего к центру оснастки края матрицы.

Для того чтобы учесть немонотонность деформирования, процесс необходимо разбить на ряд временных этапов. В этом случае математическая модель расчета распределения толщины стенки даст возможность учитывать форму детали, а также время формоизменения. Это позволит решить задачу формоизменения предварительно изогнутой трубчатой заготовки произвольной формы с переменной толщиной стенки.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕРИ
УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ОБЖИМЕ КОЛЬЦА**

А.С.Чумадин, А.А.Шишкин

(МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского)

shishkinaa@mati.ru

Большинство известных решений задач по потере устойчивости опираются на предположение об исключительной малости возмущений для перевода заготовки из одного состояния равновесия в другое. Однако в данном случае это предположение не является корректным, так как при обжиге тонкостенной кольцевой заготовки под действием окружных сжимающих напряжений кольцо постоянно прижимается к поверхности матрицы и малого возмущения будет недостаточно, чтобы вызвать потерю устойчивости заготовки с образованием складки. Следовательно, для корректного решения указанной задачи необходимо установить физические причины и описать механизм возможного появления «немалого» возмущения, в результате которого нарушается контакт заготовки с матрицей, переходя из устойчивого состояния «в малом», в неустойчивое состояние «в большом» с последующим образованием складки.

Теоретические исследования показали, что продольная потеря устойчивости тонкостенного кольца возникает из-за появления локальной разнотолщинности кольцевого элемента в окружном направлении, которая складывается из разнотолщинности исходной заготовки и накопленной неоднородности по толщине в процессе обжига. В результате, из-за эксцентриситета приложения окружной нагрузки возникает изгибающий момент, который отрывает заготовку от поверхности матрицы с последующим образованием продольной складки. Для подтверждения полученных результатов были проведены эксперименты по исследованию механизма потери устойчивости.

Ряд экспериментов проводился при обжиге трубных заготовок с использованием тензометрических датчиков, приклеенных с внутренней стороны трубы. Было установлено, что в процессе обжига деформации на кромке заготовки не являются равномерными, сжимающие напряжения растут не равномерно (ступенчато), а в некоторых случаях на короткий промежуток времени сменяются растягивающими, после чего снова становятся сжимающими и продолжают расти. Это указывает

на то, что на внутренней поверхности кромки заготовки происходит неравномерный набор толщины, в связи с чем может возникнуть разнотолщинность, которая приведет к отрыву заготовки от матрицы.

Так же был проведен ряд экспериментов на сжатие плоской листовой заготовки, имитируя процесс обжима сегмента кольца. В процессе исследования образец последовательно подвергался увеличивающимся нагрузкам с периодическим промером толщины деформируемой части заготовки до наступления потери устойчивости. По результатам экспериментов было выявлено, что образец деформируется неравномерно, и на сжимаемой поверхности, с увеличением сжимающих нагрузок, возникает локальная разнотолщинность, где в месте ее появления происходит потеря устойчивости. В нескольких экспериментах была введена искусственная неровность на вогнутой поверхности, имитирующая дефект матрицы, которая также приводила к потере устойчивости при значительно меньших усилиях, чем без нее.

В целом проведенные эксперименты подтверждают предложенный механизм продольной потери устойчивости кольца в процессе обжима.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОТЖИГА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТОНКОСТЕННЫХ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

К.А. Макаров, Е.В. Коршиков

(«МАТИ»-РГТУ им. К.Э.Циолковского, ОАО «КНААПО»)

chumadinas@mati.ru

Практически каждая технологическая операция изготовления конструкций летательных аппаратов из металлов и сплавов сопровождается накоплением или перераспределением остаточных напряжений, которые могут оказывать существенное влияние на эксплуатационные характеристики изделий. Особенно неблагоприятны остаточные напряжения, возникающие в результате сварки особо ответственных узлов ЛА из титановых сплавов.

Чем сложнее сварная конструкция, тем больше вероятность ее коробления и возникновения холодных трещин, особенно таких, которые появляются по истечении некоторого времени. Этому способствуют сварочные напряжения, возникающие из-за локального и неравномерного распределения металла при сварке. Причиной возникновения внутренних напряжений и деформаций при сварке являются также ли-

тейная усадка, вторичные структурные и фазовые превращения в металле.

Одним из перспективных способов зонального термического воздействия для снятия остаточных напряжений в сварных конструкциях является использование лазерного излучения. Выбор данного способа обуславливается рядом благоприятных факторов:

- наличием серийного лазерного высокопроизводительного оборудования как импульсного, так и непрерывного действия;
- сравнительной простотой лазерного воздействия, обуславливающей несложный подбор технологических режимов обработки деталей;
- значительной номенклатурой обрабатываемых деталей, требующих локальной термообработки;
- большой технико-экономической эффективностью, определяемой достоинствами лазерной термообработки и др.

Исследование влияния лазерного излучения на уменьшение остаточных напряжений в сварном шве производилось на сварных образцах из сплава ВТ-20 толщиной 1,5 мм, длиной 500 мм, шириной 300 мм на установке «BYSTRONIC- BUSTAR 3015». В качестве источника энергии в этой установке использовался лазер с активной средой из смеси газов: углекислого, азота и гелия. Длина волны 10600 мкм, максимальная мощность 1800 Вт.

Сварной образец фиксировали на рабочем столе установки прижимными винтами и проводили лазерный отжиг сварного шва за один проход. После отжига прижимные винты откручивали и выполняли замеры отклонения поверхности образца от плоскости в установленных точках.

По результатам, полученным в ходе выполнения эксперимента, можно сделать выводы:

1. Лазерное излучение оказывает влияние на остаточные напряжения в сварном шве и коробление сварного образца.
2. Основными параметрами, определяющими величину коробления, являются скорость перемещения лазерного луча относительно образца и высота лазерной головки над сварным образцом, от которой зависит концентрация излучения на поверхности.
3. При правильном подборе режимов локального лазерного отжига данный способ может быть использован для отжига сварных конструкций взамен традиционной термообработки.

РАСЧЕТЫ ПРЕДЕЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СВАРНЫХ ЗАГОТОВОК

А.С. Чумадин, А.В. Воронков
(МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского)
chumadinas@mati.ru

Известно, что сварные соединения в той или иной степени уступают в прочности и пластичности основному металлу в зависимости от свариваемых материалов, способа, режимов сварки и т.д.

Целью работы являлась разработка метода расчета предельного деформирования сварных заготовок с использованием модели предельного деформирования листового материала, разработанной в МАТИ в 1990 гг. на основе геометрического критерия локализации деформации, предсказывающего резкое утонение стенки деформируемой заготовки в зоне первоначального «малого» дефекта.

Исследования проводились на образцах из алюминиевого сплава АМгб, полученных сваркой трением с перемешиванием.

Было установлено, что сварные заготовки имеют геометрическую неоднородность в зоне сварного шва в пределах 6-8%, а неоднородность механических свойств (по замерам твердости по Бринеллю) – доходит до 4%. То есть было установлено, что исходный дефект сварного соединения лежит в пределах 10-12%.

Используя полученные значения исходного (малого) дефекта сварного соединения, были проведены теоретические расчеты предельного деформирования такой заготовки при различных видах нагружения: при одноосном растяжении, двухосном растяжении, изгибе, сдвиге и т.д. и построены соответствующие кривые предельных деформаций.

Затем были проведены экспериментальные исследования по деформированию сварных образцов в условиях близких к проведенным расчетам. Исследовалось одноосное растяжение сварных образцов, формовка (двухосное растяжение) и гибка заготовок на различные радиусы. В экспериментах принимали участие аспирант Ульвис Н.В. и студент-дипломник Полищук И.А.

Сопоставление результатов теоретических расчетов с экспериментов показало, что предельные деформации сварной заготовки хорошо рассчитываются при одноосном и двухосном растяжении материала и

дают заниженные результаты при изгибе, где влияние дефектов сказывается, вероятно, в меньшей степени.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что предельные возможности штамповки сварных заготовок могут рассчитываться с использованием математических моделей, предсказывающих локализацию деформации в процессах листовой штамповки.

УЛЬТРАСТРУЙНАЯ ДИАГНОСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗДЕЛИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

А.А. Ковалев

(МГТУ им.Н.Э. Баумана)

kovalevarta@gmail.com

Одним из главных факторов, определяющих надежность изделий аэрокосмической техники, является их износ. Детали и узлы аэрокосмической техники, работающие в условиях механического и коррозионного износа, трения и повышенных нагрузок, подвержены одновременно различным видам изнашивания. Так как универсальных покрытий не существует, то возникает проблема подбора необходимого функционального покрытия. Для этого необходимо проводить испытания и диагностику простых и сложных свойств покрытий. Это требует значительных затрат времени.

Одним из перспективных способов диагностики сложных свойств покрытий является ультраструйная диагностика (УСД). Данная диагностика позволяет имитировать одновременное воздействие различных типов изнашивания и существенно сокращает временные затраты по сравнению со специализированными испытаниями на каждый тип износа.

УСД основана на взаимодействии высокоскоростной струи жидкости и мелкодисперсного абразива с диагностируемым покрытием, вызывающее гидроэрозию поверхности при определенных режимах: рабочее давление струи, ее диаметр, кинематика движения по диагностируемой поверхности. При гидроструйной эрозии происходит ускоренное локальное разрушение материала по механизмам наиболее близким или идентичным механизмам реального разрушения покрытия под действием эксплуатационных нагрузок, например циклических, вызывающих усталостное разрушение. Это обстоятельство обеспечивает сопоставимость результатов гидроструйного диагностирования полномасштабным исследованиям физико-механических свойств и ресурс-

но-эксплуатационных испытаний функциональных параметров покрытий.

При введении в состав струи химически-агрессивных добавок, поверхностно-активных веществ можно анализировать износостойкость функциональных покрытий на коррозионно-механическое и химическое воздействие.

УСД можно проводить не только на стадии разработки покрытия, но и при его производстве и эксплуатации.

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ГИДРОСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ

М.В.Хафизов

(МГТУ им. Н.Э.Баумана)

maks126@mail.ru

Ультраструйные методы обработки материалов в последнее десятилетие все увереннее дополняют обширный арсенал современных производственных технологий, однако его научно-методическое сопровождение отстает от технической реализации и расширения областей практических приложений.

Применение метода акустической эмиссии в технологии механической и физико-технической обработки материалов позволило создать его комплексное информационно-диагностическое обеспечение. Как показал анализ, во многом сложившаяся методология эмиссионной диагностики может быть адаптирована для решения проблем информационного обеспечения ультразвуковых технологий.

Возникающие, в основном, в зоне взаимодействия ультразвуку с обрабатываемым материалом или мишенью при реализации обработки волны акустического излучения являются неотъемлемым фактором данной технологии и несут однозначную информацию о происходящих неравновесных энергетических превращениях в зоне обработки.

При этом диагностику можно осуществлять как непосредственно процесса ультразвуковой обработки, так и самого технологического оборудования, ключевым элементом которого является установка для создания сверхвысокого давления рабочей жидкости.

Первые экспериментально полученные результаты подтверждают обоснованность и справедливость предложенного методического подхода к диагностическому обеспечению ультразвуковой обработки ма-

териалов. В частности, был отмечен чрезвычайно широкий энергетический и спектральный характер сигналов акустического излучения; установлена нелинейность зависимости от условий ультразвуковой обработки, позволяющая экспрессно определять рациональные режимы обработки; показана возможность оперативного контроля износа струеформирующих сопел и т.д.

**СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ
ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

А.Ф. Литвин, К.А. Белов

(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

vniiem@vniiem.ru

Обеспечение работы высокоточного оборудования в задаваемых температурных режимах, например, температура при поверке (калибровке) эталонов от корпорации «Fluke» – эталонный вольтметр 8508А, калибраторы 5500А/5520А; 5700А/5720А; 5820А/9500В и др. – задаётся в двух режимах: $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$; $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$. Согласно ГОСТ 8.050 «Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений» (п. 3.1.2) пределы допустимого отклонения температуры рабочего пространства и объектов измерения (например, протяжённостью от 50 до 500 мм) от нормального значения (20°C) должны соответствовать: для рядов (I, II, III) – соответственно $(\pm 0,1; \pm 0,2; \pm 0,3)^\circ\text{C}$; (IV÷VIII) – $\pm 0,5^\circ\text{C}$; (IX÷XI) – $\pm 1^\circ\text{C}$; (XII÷XIV) – $\pm 2^\circ\text{C}$.

Соблюдение этих условий потребовало тщательного изучения и анализа пространственно-временного распределения температуры на объекте измерений (при различных вариациях системы обеспечения) с использованием тепловизора «Fluke Ti-32». В результате проведенного цикла исследований выполнены расчёты различных моделей системы, определены и рассчитаны взаимосвязи и принципы построения её основных элементов. Предварительные исследования моделей показали, что достаточно большое значение приобретает учёт взаимодействия элементов конструкции помещения и системы обеспечения с элементами объекта измерений. Рассмотрены два варианта обеспечения задаваемого температурного режима измерений:

- Температура окружающей среды выше задаваемой для обеспечения температурного диапазона измерений объекта $T_{\text{среды}} > T_{\text{изм}}$

- Температура окружающей среды ниже задаваемой для обеспечения температурного диапазона измерений объекта $T_{\text{среды}} < T_{\text{изм}}$

Расчёты моделей и выполненные экспериментальные исследования показали, что для обеспечения прецизионных условий выполнения измерений предпочтительной является вторая ситуация, когда условие $T_{\text{среды}} < T_{\text{изм}}$ имеет достаточно устойчивый характер. В этом случае использование системы унифицированных нагревательных элементов, по крайней мере, 2-го разряда, оптимизация их конструктивного исполнения по рассеиваемой в рабочее пространство мощности тепловых потоков – обеспечивают измерения при температурах $(20 \pm 0,3 \div 0,5)^\circ\text{C}$.

КАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАКТОВ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

А.Ф. Литвин, Д.Х. Девлеткильдеева
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

vniiem@vniiem.ru

Как правило, калибровка измерительных трактов многоканальных систем мониторинга физических величин предусматривает последовательную выдачу на входы измерительных трактов электрических сигналов, которые имитируют значения измеряемых величин в задаваемых диапазонах их изменений. При этом разработчики программ-методик калибровки скрупулёзно рассчитывают процентные доли диапазона измерений и задают их в качестве рабочих точек калибровки. В качестве источников сигналов калибровки используются громоздкие и сложные в обращении потенциометры, магазины сопротивлений и т.п. Процедура калибровки многоканальных систем мониторинга при количестве каналов, достигающем нескольких сотен, превращается в многодневный изнурительный труд.

Рассмотрена модель многоканальной системы мониторинга, основанная на калибровке идентичных измерительных трактов при подаче на параллельно соединённые входы каналов воздействующих сигналов (ток, напряжение), перераспределяемых по каналам в соответствии с их входными сопротивлениями. Величины распределяемых по каналам сигналов калибровки могут измеряться, например, универсальным вольтметром АК ИП В7-78/1 с 20-канальным устройством расширения измерительных каналов (до 2000 измерений/сек, базовая ПГ $\pm 0,004$ %).

При этом для использования в качестве источников исходных сигналов калибровки можно рассмотреть достаточно широкий спектр программируемых источников напряжения/тока, например, выпускаемых под марками GW Instek, АК ИП (до 1,5 кВт); Lambda (до 10÷15 кВт) и т.п. Шаг перестройки калибрующего сигнала можно изменять в широких пределах от (1 мВ, 1 мА). Подобным образом в качестве сигналов калибровки можно задавать частоту, сопротивление, ёмкость и т.д.

Очевидно, что выбор алгоритма задания калибрующих сигналов, которые не имитируют выходные сигналы измерительных преобразователей, отвечающие конкретным измеряемым физическим величинам диапазона, но полностью перекрывают весь диапазон измеряемых величин – это кратчайший путь повышения точности измерений при полной автоматизации процедур калибровки.

**ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАВАЕМОГО
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПРИ ПРЕЦИЗИОННОЙ ТЕРМООБРАБОТКЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ
ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

А.Ф. Литвин, О.С. Фомин
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

vniiem@vniiem.ru

При изготовлении высокоточных деталей и узлов для космических аппаратов и электрических машин зачастую требуется обеспечить задаваемое прецизионное пространственно-временное распределение температуры на объектах с достаточно высокой протяжённостью и массой при технологических операциях термообработки, например, для снятия остаточных механических напряжений после сварки, закалки и т.п. Это требует поиска путей линеаризации температурных полей как в объёме термокамеры, так и по объекту термообработки и разработки системы базовых единичных нагревательных элементов 2-го разряда на диапазоны температур: (20÷200)°С; (200÷400)°С; (400÷700)°С; (700÷900)°С; (900÷1200)°С. Необходимо соблюдать принципы единообразия и унификации конструктивного исполнения единичных элементов нагревателей, а также методов и средств измерения-регулирования-программирования задаваемых режимов термообработки (например, приборы серии «Термодат-25/29» и силовые блоки на 1, 2, 3 фазы применительно к решаемой задаче).

Подобный подход позволяет разработать алгоритмы обеспечения режимов прецизионной термообработки, а также обеспечить достаточное количество степеней защиты, на основе чего появляется возможность программирования режимов работы оборудования в автоматическом режиме, в т.ч. без участия обслуживающего персонала.

Особо следует отметить важность классификации базовых единичных элементов нагревателей, прежде всего по диапазонам задаваемых интервалов температур, по мощности, по пространственно-временному распределению температуры как в объеме термокамеры, так и по поверхности и объёму объекта термообработки.

Примерами практического применения описанных принципов термообработки являются:

- Печь ПН-32 – закалка в сменяемых кассетах – $(485 \pm 1)^\circ\text{C}$
- Печь ПН-34 – отпуск в кассете $(950 \times 950 \times 250)$ – $(360 \pm 3,5)^\circ\text{C}$
- Печь ОКБ-210 – отпуск торсионов – $(433,5 \pm 3,5)^\circ\text{C}$

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ НАНООБЪЕКТОВ В МАТЕРИАЛАХ
КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ МЕТОДОМ ПОЗИТРОННОЙ
АННИГИЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

В.И.Графутин, Е.П.Прокопьев
ФГУП ГНЦ РФ – ИТЭФ, г.Москва
epprokoriev@mai.ru

Известно, что позитроны эффективно зондируют свободные объемы нанобъектов с размерами в ангстремном и нанометровом диапазонах как в металлах и сплавах, так и в полупроводниках. Особую важность представляет возможность определения размеров нанобъектов в материалах космической техники (МКТ), облученных протонами. Для этого необходимо проведение комплексных исследований дефектной структуры в МКТ, содержащих полости нанометровых и ангстремных размеров (вакансии, вакансионные кластеры, поры) с использованием различных методов позитронной аннигиляционной спектроскопии (ПАС). Это позволяет установить связи между экспериментально измеряемыми параметрами аннигиляционных спектров и характеристиками нанодефектов (типом, размером, концентрацией) в МКТ. При этом поведение радиационных нанодефектов оказывается весьма важным. Выполнение такого рода исследований будет способствовать накоплению фундаментальных знаний о радиационных повреждениях прото-

нами в МКТ, развитию теоретических моделей, описывающих свойства и поведение этих дефектов. Показано, что одним из эффективных методов определения средних размеров цилиндрических и сферических нанообъектов \bar{R} (свободных объемов пор, полостей, пустот и т.д.), их средних значений концентрации \bar{N} и химического состава в месте аннигиляции позитрона в дефектных материалах (металлах и сплавах) является ПАС метод <http://www.portalus.ru/modules/science/data/files/prokoriev/Prokoriev-pos-Report.doc>. Это позволяет определять средние значения доли свободного пространства $\bar{V}_{rad} = (4/3)\pi\bar{R}^3\bar{N}$ образующегося в МКТ в процессе их эксплуатации. Обсуждается идея поиска корреляции между значениями $\bar{V}_{rad} = (4/3)\pi\bar{R}^3\bar{N}$ и механическими и другими свойствами МКТ. При этом важную роль приобретают экспериментальными методами определения прочности и хрупкости металлов и сплавов, облученных протонами.

**ИССЛЕДОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЯ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ
УГЛЕРОДНОЙ ТКАНИ В УСЛОВИЯХ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ**

Е.В. Беляков, В.А.Тарасов

(ФГУП "ОНПП "Технология", МГТУ им. Н.Э.Баумана)

kompas3d@rambler.ru

В производстве аэрокосмической техники с каждым годом возрастает доля изделий из углепластиков. Чтобы максимально реализовать свойства углепластика технологам по производству изделий из ПКМ и материаловедом постоянно приходится совершенствовать процессы формообразования композитов, разрабатывать новые типы связующих. Для отработки рациональных режимов формования может использоваться метод горячего прессования. Преимуществом данного метода является возможность исследования различных процессов формообразования композита в условиях эффективного использования материальных, энерго- и трудовых затрат.

В настоящей работе представлен опыт исследования процесса уплотнения композита на основе углеродной ткани арт.3692 фирмы "Porcher Industries" и связующем марки ЭНФБ ТУ 1-596-36-2005. Предложена методика, учитывающая погрешности, связанные с нагревом элементов конструкции лабораторного оборудования в процессе горячего прессования. Расчетные параметры конечной толщины образцов,

выполненные в рамках разработанной методики хорошо согласуются с экспериментальными данными.

**РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АЛГОРИТМОВ
ИЗМЕРЕНИЙ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ
МАССОЦЕНТРОВОЧНОМ СТЕНДЕ**

Н.А. Виденкин, Е.В. Матвеев

(МГТУ им. Н.Э.Баумана, ФГУП «НПО Техномаш»)

niknediv@rambler.ru

В измерительных стендах масс-инерционных характеристик нового поколения автоматизированы процессы управления, измерения и обработки результатов. Автоматизация затрагивает процессы приема данных с блоков измерительных датчиков, управления шаговыми электродвигателями и численную обработку полученных данных. Главной сложностью реализации задачи автоматизации является необходимость приема-передачи данных адаптивно, в режиме реального времени.

Целью данной работы является представление алгоритма управления устройствами автоматизированного стенда для расчета координат центра масс, основой для разработки которого послужила принципиальная схема стенда с учетом характеристик конкретных устройств, в него входящих.

Для проверки правильности разработанных для автоматизированного массоцентровочного стенда алгоритмов и выполняемых на ЭВМ расчетов был спроектирован макет стенда. Макет оснащен основными датчиками и электроприводами, управление которыми производится с персонального компьютера в режиме реального времени. Все вычислительные операции реализованы программными средствами Microsoft Excel на основе языка Visual Basic for Application. Данная программная среда была выбрана по причине ее доступности, универсальности, удобства визуального представления результатов.

При проектировании макета были в упрощенном варианте сохранены многие особенности конструкции стенда, что позволяет также отработать ряд операции, направленных на увеличение точности измерений. К ним относятся тарировка, учет систематических погрешностей, а также статистическая обработка результатов для учета случайных погрешностей.

**УЧЕТ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ И КАВИТАЦИИ В ПРАКТИЧЕСКОМ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕЗАНИИ
МАТЕРИАЛОВ РКТ**

А.Л.Галиновский, Р.Р.Сайфутдинов, И.Е.Кузнецов, В.И.Колпаков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
galcomputer@mail.ru

Установлено, что мощное волновое возмущение зоны контакта высокоскоростной гидроструи с преградой является физически естественным механизмом трансформации громадной удельной кинетической энергии гидроструи в другие виды энергий. Мощное волновое возмущение зоны ультраструйного контакта, возникновение изгибных волн, поверхностных акустических волн – волн Рэлея, волн упругой деформации других типов, например упругих волн Лэмба, кавитационных эффектов связанных с ними вносят свой достаточно заметный вклад в процесс гидроэрозии материала мишени. Учитывая этот факт, используя аппарат механики сплошной среды и программно-математическое обеспечение было проведено моделирование взаимодействия ультраструи с преградой (с целью выявления закономерностей зарождения и развития совокупности волновых процессов в зоне гидрорезания).

Было воспроизведено поэтапное возникновение волновых флуктуаций, возникающих при взаимодействии в некоторой достаточно малой области поверхности и/или подповерхностном слое мишени, различных по мощности и типу волн упругой деформации. При этом, следуя данным шкалы распределения напряжений в материале, напряженно-деформированное состояние материала мишени в месте появления волновых флуктуаций достигает критического значения. Безусловно, это приводит к изменению структуры материала, в частности локальному пластическому течению, оттеснению поверхностных слоев на периферию области удара ультраструи, формированию микро и субмикротрещин, их развитию в течение времени воздействия на преграду (мишень). Эрозия преграды помимо прочих факторов также связана с проявлением кавитации: ударными волнами и кумулятивными струйками, образующимися при схлопывании кавитационных пузырьков. Рассматривая процесс гидрорезания можно отметить, что наличие на поверхности концентраторов напряжений, микротрещин, шероховатостей и т.д. стимулирует зарождение кавитации, поскольку при проник-

новении жидкости в микропоры и трещины, в них происходит захлопывание кавитационных пузырьков, что приводит к возникновению мощной ударной волны, способствующей разрушению материалов. Кумулятивные струйки разрушают поверхность твердого тела за счет кинетической энергии жидкости. Эти данные также подтверждены результатами моделирования, где для сравнения была рассмотрена модель взаимодействия ультраструи с плоской полированной поверхностью и поверхностью имеющей существенную шероховатость. Из полученных результатов следует, что процесс гидроэрозии для образца, имеющего значительную шероховатость существенно более производительен, чем для полированного.

В соответствии с этим предполагается провести более углубленные исследования по влиянию рассматриваемых процессов на гидроэрозию материала. Перспективным направлением исследований является: введение в гидрострую компонентов углекислого газа или кислорода, создание дополнительных вибрационных воздействий, введение поверхностно-активных веществ, создание комбинированных абразивно-кавитационных гидроструй. По предварительным данным эти конструкторско-технологические мероприятия позволят повысить эффективность и производительность гидрорезания от двух до шести раз. В настоящее время решаются вопросы компьютерного моделирования данных процессов с использованием аппарат механики сплошной среды, разрабатываются методические планы проведения экспериментальных исследований.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

Н.А. Степанищев, В.А. Тарасов, Е.А. Проходцев
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

steklaus@bk.ru.

Одним из перспективных способов упрочнения полимерных нанокompозитов является метод введения в полимерную матрицу углеродных нанотрубок (УНТ). По удельной, отнесенной к плотности, прочности УНТ далеко превосходят все остальные материалы, и по сути, являются идеальным материалом для nanoармирования полимеров.

Специфика использования наночастиц заключается в том, что на всех этапах передела, начиная с момента их производства, они под действием сил Ван-дер-Ваальса образуют агломераты, которые не поз-

воляют использовать высокие механические характеристики отдельных наночастиц и, как установлено, даже отрицательно влияют на механические свойства наноматериалов.

В работах экспериментально показано существование оптимальной концентрации углеродных нанотрубок, равномерное распределение которых по объёму полимерной матрицы исключает их реагломерирование и, следовательно, обеспечивает гарантированный прирост прочностных характеристик нанополимера.

Исследования различных методов введения наночастиц в полимерную матрицу доказывают важность равномерного распределения наночастиц по всему объёму с целью максимального использования главного преимущества наночастиц – способность создавать прочные связи с молекулами связующего. Однако недоступность и дороговизна специального технологического и метрологического оборудования диктует необходимость разработки более доступных методик и технологий создания нанокомпозитов. При этом особой перспективой обладает ультразвуковой метод.

Цель исследований сводится к поиску методов:

- 1) определения оптимальной концентрации УНТ, которая при равномерном распределении обеспечивает максимальный прирост прочностных характеристик нанокомпозита;
- 2) равномерного распределения наночастиц (гомогенизация) по объёму полимерной матрицы с помощью ультразвукового диспергатора.

Для определения оптимальной концентрации УНТ предлагается новый метод через измерение вязкости наносuspензии при ступенчатом введении наночастиц с шагом 0,001% в зоне сверхмалых концентраций. Установлена связь между изменением вязкости нанодисперсии и прочностью полимеризованных образцов, позволяющая определять оптимальную концентрацию УНТ.

Предложен метод определения необходимой и достаточной степени гомогенизации наночастиц по объёму полимерной матрицы по изменению насыщенности цвета наносuspензии, определяемой с помощью компьютерной программы «Image Analysis - Media Cybernetics – Image Pro Plus 6.0» и характеризующий факт разрушения агломератов и равномерность распределения одиночных УНТ по матрице.

**ОЦЕНКА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕРМОБАРЬЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИЗДЕЛИЙ РКТ****В.А.Тарасов, А.С.Филимонов, Н.В.Герасимов
(МГТУ им. Н.Э.Баумана)***alex72@mail.ru*

Особенностью эксплуатации изделий ракетно-космической техники (РКТ) является высокий температурный режим их работы. Поэтому актуальной является задача разработки эффективных теплозащитных материалов и проведение теоретических и экспериментальных исследований по оценке их теплопроводности.

В работе проведены теоретические теплофизические исследования поведения при нагреве различных материалов используемых для теплозащиты изделий РКТ. В рамках исследований проведена упрощенная оценка влияния теплофизических факторов теплового потока в системе теплоизоляционный материал (ТИМ) – металлическое тонкостенное изделие РКТ. Произведен расчет удельных тепловых потоков при стационарном и динамических режимах теплообмена, проходящих через единицу длины каждого слоя многослойного теплоизоляционного покрытия. Получены формулы коэффициентов теплопередачи, связи температур соседних слоёв ТИМ, удельного термического сопротивления.

Проведенный анализ формул показал возможные различные способы снижения температур на стенках слоев теплоизоляционного покрытия.

Проведены оценки эффективности возможных способов снижения температуры на поверхностях изделий РКТ.

Исследованы различные конструктивные варианты увеличения площади контакта теплоизоляции с изделием РКТ. В частности, была произведена оценка возможности увеличения термического сопротивления из условия, что внешнюю поверхность металлического слоя изделия РКТ можно сделать ребристым.

Таким образом, в работе проведен обобщенный анализ основных факторов теплообмена в многослойной теплоизолирующей системе изделий РКТ, приведены практические рекомендации по выбору ТИМ, а также по конструктивным параметрам изделий РКТ.

**УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ НАПЫЛЕНИЯ
ТУГОПЛАВКИХ ОКИСЛОВ****В.И. Фролов, Е.К. Савич, И.А. Докукина
(СГАУ)***e-mail: bogdanovich@ssau.ru*

В настоящее время для защиты деталей от воздействия высоких температур широко применяются теплозащитные покрытия различного состава, в основном из оксидов алюминия и циркония. Их наносят на поверхности деталей горячего тракта различных камер сгорания, двигателей, энергетических, газоперекачивающих, химических и других установок, поршней двигателей беспилотного летательного аппарата. Основными промышленными процессами нанесения теплозащитных покрытий являются методы электроннолучевого осаждения, ионно-плазменного напыления в вакууме и газотермического воздушно-плазменного напыления. Отличие структуры плазменных газотермических покрытий от электронно-лучевых и вакуумных ионно-плазменных дает существенное преимущество и обеспечение высоких эксплуатационных свойств. Воздушно – плазменные покрытия за счет своей микроструктуры обеспечивают значительно лучшую тепловую защиту. При расположении пор перпендикулярно тепловому потоку теплопроводность покрытия значительно снижается.

Для типовых процессов плазменного напыления порошковых тугоплавких оксидов типа циркония и алюминия с размерами частиц (20-60) мкм требуется их разгон до (80-300) м/с, нагрев поверхностного слоя до температур более 3000 К со степенью проплавления порошка от 0,05 до 0,5 объема. В свою очередь значение этих параметров зависит от мощности используемого плазмотрона и протяженности ядра плазменной струи на выходе из него.

Решение этой проблемы за счет увеличения мощности малогабаритных плазмотронов выше 40 кВт является малоперспективным, так как протяженность ядра плазменной струи изменяется при увеличении мощности незначительно, а ресурс плазмотрона значительно уменьшается. Существенно более перспективным направлением решения этой проблемы является создание плазмотрона с профилированным соплом, в котором из-за обжатия плазменной струи длина ядра может быть увеличена от 20 мм (в свободно истекающих струях) до (30-40) мм. Такой подход обеспечивает увеличение эффективности обработки кристаллических порошковых материалов из тугоплавких оксидов с существен-

ным увеличением перечисленных выше параметров напыляемых частиц без увеличения мощности самих плазмотронов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ СБОРКИ МЕТАЛЛО-КОМПОЗИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**В.А. Барвинок, В.П. Самохвалов, С.В. Страшков
(СГАУ)**

e-mail: barvinok@ssau.ru

В последнее время широкое распространение получили методы, интенсифицирующие процессы деформирования металлов и сплавов. К ним относятся высокоскоростные способы деформирования и методы дополнительного энергетического воздействия. Эти методы существенно повышают производительность труда, снижают себестоимость, а в ряде случаев повышают качество продукции. В конструкциях современных летательных аппаратов и двигателей (особенно в пневмогидравлических системах) большое распространение имеют неразъемные герметичные соединения из разнородных или несвариваемых обычными методами материалов. Особое значение занимают соединения типа «металл-пластик» и проблема соединения деталей из пластмасс с другими материалами приобретает особую актуальность. В настоящее время для получения подобных соединений наиболее перспективным является импульсное магнитное поле (ИМП), которое в отличие от других не требует специальных условий реализации. В тоже время ИМП легко и достаточно точно регулируется в широком диапазоне передаваемой энергии.

При аналитическом и численном анализе напряженно-деформированного состояния зоны соединения возникают трудности из-за существенной неоднородности физико-механических и теплофизических свойств материалов, больших относительных толщин и наличия различных концентраторов напряжений. По этим причинам возрастает роль экспериментальной отработки оптимальных типов соединений, а также параметров и видов технологических процессов сборки узлов. При получении достаточно полной информации о влияющих факторах на прочность и надежность соединений появилась необходимость разработки математической модели с применением метода конечных или граничных элементов.

Проведенные выше указанные опыты начинались с определения предельной нагрузки отказа и (разрушения) для каждого типа соединения. Каждый образец подвергался десяткам циклам растяжения-сжатия. Величина упругих деформаций серединной части образцов и зон, прилегающих к законцовкам, определялась с помощью тензометрирования.

**ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛИ С НАНОСТРУКТУРНЫМ
РЕЗИСТИВНЫМ СЛОЕМ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ
БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

***В.И. Богданович, В.А. Барвинок
(СГАУ)***

e-mail: barvinok@ssau.ru

Разработка новых видов систем терморегулирования бортовой аппаратуры космических аппаратов потребовала создания технологии изготовления высоконадёжных гибких малогабаритных (30×100 мм, 30×200 мм) электронагревателей с потребляемой электрической мощностью в пределах (2-15) Вт, рабочим напряжением до 30 В, температурой нагрева до (50-150) °С и гарантированным ресурсом работы не менее 50 тыс. часов в условиях открытого космического пространства.

В связи с этим был разработан принципиально новый для технологии машиностроения способ изготовления тонкопленочных гибких электронагревателей (ПЭН), основанный на создании резистивного слоя нанесением вакуумного ионно-плазменного наноструктурного покрытия толщиной в пределах (1-10) мкм на высокоинертную полиимидную пленку толщиной (40-60) мкм с последующей герметизацией резистивного слоя приклеиванием внешнего слоя такой же пленки. Топологический образ заданной геометрии резистивного слоя формировался нанесением покрытия через специальные маски, а припайка токопроводящих проводов проводилась через медное покрытие, напыляемое в заданных местах резистивного слоя.

Покрyтия наносились на модернизированной установке ННВ-6.6И1 с электродуговой генерацией металлической плазмы из катодов, материал которых определял состав получаемого покрытия. Структура покрытия создавалась в виде слоистой 2D наноструктуры за счет периодического перемещения образца через зону воздействия плазменного потока напыляемого материала.

Таким образом, проведенные исследования показали, что резистивные слои покрытий, получаемые вакуумным ионно-плазменным методом имеют в (3-5) раз большее удельное электрическое сопротивление по сравнению с материалом покрытия, но в состоянии металлургической поставки. Разработанная технология получения резистивных слоев из хромоникелевых сплавов позволила разработать новую технологию изготовления тонкопленочных гибких электронагревателей для систем терморегулирования бортовой аппаратуры космических аппаратов.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СБОРКИ ВЫСОКОРЕСУРСНЫХ
УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Ю. А. Вашуков

(СГАУ)

e-mail: barvinok@ssau.ru

Внедрение новых технологий при производстве современных летательных аппаратов (ЛА) позволяет изготавливать детали и узлы с наименьшими затратами и высокими эксплуатационными свойствами. При этом наукоемкие и перспективные технологии в данной ситуации могут найти широкое применение, поскольку они впитали наиболее интересные технологические решения при анализе всех возможных классических вариантов. В работе отражены результаты применения перспективных технологий в производстве ЛА. Разработаны и опробованы варианты соединения трубчатых и листовых элементов между собой с силовыми элементами конструкции ЛА. Из множества возможных выбраны наиболее рациональные схемы и технологии соединений. Технологические методы, рекомендуемые для применения отличаются универсальностью оборудования и технологического оснащения. К ним относится магнитно-импульсная обработка и технология сборки с применением механизированного инструмента с эффектом памяти формы. Проведены работы по соединению деталей конструкций ЛА из листовых композиционных материалов с сотовым наполнителем и по изготовлению деталей трубчатого каркаса на основе стеклопластика, углепластика и т.д.

Проведён анализ полимерных композиционных материалов применяемых для изготовления агрегатов ЛА, и основных материалов наполнителей и связующих с целью оптимизации принимаемых технических решений. Определение механических свойств полученных узлов

проводилось по методикам испытаний на сжатие, на изгиб, на растяжение и отрыв клеевого слоя.

Исследования прочностных характеристик полученных соединений показали их высокую эксплуатационную способность.» в первую очередь разрушался материал верхней обшивки.

Полученные в работе результаты могут быть использованы как на стадии подготовки производства ЛА, так и на этапе серийного изготовления. Разработанные технологические рекомендации позволяют осуществить производство подобных деталей узлов ЛА в условиях серийного производства.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СТЕСНЕННОГО ИЗГИБА ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИУРЕТАНА

*Е.В. Еськина, Е.Г. Громова
(СГАУ)*

e-mail: barvinok@ssau.ru

В конструкциях летательных аппаратов имеется много силовых деталей, изготовленных методами штамповки-гибки из листового материала. При этом недостатками профилей, получаемых традиционной гибкой, являются большие радиусы закругления, утонение материала в зонегиба, что резко снижает их прочность и жесткость, а также пружинение детали после снятия нагрузки, что препятствует получению необходимой точности. Устранить существующие недостатки изгибаемых деталей оказалось возможным при изготовлении их методом стесненного изгиба.

Предлагаемая авторами конструкция штампа для стесненного изгиба, позволяет упростить технологический процесс и повысить качество изготавливаемой детали. Штамп состоит из матрицы, корпуса, стержней из эластомера, пуансонодержателя, пуансона, изготовленного также из эластомера. В процессе штамповки под действием силы пресса корпус с пуансоном опускаются вниз, и заготовка изгибается в полуцилиндр по форме пуансона до момента соприкосновения с выталкивателем. При дальнейшем усилии пресса выталкиватель опускается вниз, сжимая эластичный стрежень. Эластичный пуансон при возрастании усилия деформируется, изгибая заготовку из полуцилиндрического в уголкового сечения. Выпрямление стенки заготовки и действие сил трения со стороны эластичного пуансона способствуют смещению матери-

ала заготовки в ее уголковые участки. Окончательное деформирование заготовки производится уступами корпуса, которые передают усилие пресса на торцы изгибаемых полок. Были проведены теоретические исследования процесса. Разработана математическая модель процесса стесненного изгиба листовых деталей изделий ракетно-космической техники с учетом воздействия эластичного пуансона. Процесс деформирования заготовки характеризуется параметрами, свойственными процессу стесненного изгиба. Это означает утолщение материала в зонегиба, уменьшение в 2-3 раза радиуса сопряжения полок со стенкой, что значительно повышает жесткость деталей, а также снижение в 1,5-2 раза пружинения изгибаемых полок, что повышает точность деталей.

**ИСПЫТАНИЯ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ И
ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ
НА ВИБРАЦИОННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

А.Я. Кулибаба

(НЦ СЭО ОАО «Российские космические системы»)

jarsunny@rambler.ru

Обеспечение надежности электронной аппаратуры авиационной и ракетно-космической техники является актуальной задачей. Среди внешних воздействующих на нее факторов важное место занимает вибрация, способная вызвать разрушение конструкции и нарушения функционирования аппаратуры. Поэтому для обеспечения высокой эксплуатационной надежности приборы и элементы необходимо тщательно проверять на вибрационные воздействия. Особое внимание следует уделять испытаниям используемой электронной компонентной базы (ЭКБ), так как ее качество во многом определяет надежность аппаратуры.

Для испытаний наиболее критичным воздействием является широкополосная случайная вибрация (ШСВ), так как она максимально приближена к реальным условиям эксплуатации. Вид ШСВ зависит от модели ВВФ на аппаратуру и задается спектральной плотностью мощности виброускорения. Таким образом, для воспроизведения ШСВ система испытаний на вибрационные воздействия должна использовать некоторый алгоритм имитации случайных процессов (АИСП) с заданными корреляционно-спектральными характеристиками (КСХ). Свойства АИСП во многом определяют технические возможности системы.

В докладе представлен разработанный автором спектральный метод имитации случайных процессов в базисе функций Виленкина-Крестенсона, на основе которого возможно построение алгоритмов, обладающих высокой точностью воспроизведения КСХ и оптимальным сочетанием скорости вычисления и вероятностных свойств получаемых реализаций. Использование метода для испытаний на воздействие ШСВ позволит повысить качество испытаний и, следовательно, вибрационную надежность аппаратуры. Разработанный метод готовится к внедрению на производственной базе НЦ СЭО ОАО «Российские космические системы» для проведения испытаний ЭКБ на вибропрочность и виброустойчивость.
