

Секция 19

Производство конструкций ракетно-космической техники**ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАСКРОЯ, АРМИРОВАНИЯ ВОЛЬФРАМОВОГО СЕТЕПОЛОТНА ДЛЯ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РАЗВЕРТЫВАЕМЫХ РЕФЛЕКТОРОВ**

*В.А. Романенков, В.А. Тарасов
(ЗАО ЗЭМ РКК «Энергия», МГТУ им. Н.Э. Баумана)
tarasov@sm.bmstu.ru*

Из-за существующих ограничений по габаритам и массе доставляемых в космос объектов крупногабаритные космические антенны с большой эффективной площадью отражающей поверхности должны транспортироваться в сложенном состоянии и после выведения разворачиваться с обеспечением высокой точности отражающей поверхности.

Основными элементами, рассматриваемого в докладе, большого разворачиваемого рефлектора космической антенны являются:

- тонкие упругие углепластиковые ленты длиной свыше 4 м., изготовленные методом намотки пропитанного полимерной композицией углеродного жгута,
- трансформируемые элементы силового кольца, выполненные из порядка 120 различных тонкостенных трубчатых элементов из композитов на основе углеродных волокон и полимерных матриц,
- отражающая поверхность, изготавливаемая из фрагментов металлического сетеполотна трикотажного плетения.

Применение углепластиков - материалов, обладающих минимальным коэффициентом линейного термического расширения является необходимым условием создания легких, прочных размеростабильных трансформируемых конструкций, эксплуатирующихся в условиях космического пространства. Вместе с тем, наиболее полная реализация уникальных свойств данных материалов может быть достигнута только в сочетании оптимальных конструктивных решений с высокотехнологичными способами изготовления изделий.

Использование для отражающей поверхности разворачиваемых в космосе крупногабаритных антенн металлического сетчатого материала

снижает вес конструкции, увеличивает светопрозрачность и облегчает хранение антенны в компактном сложенном состоянии, одновременно позволяя материалу отражающей поверхности легко развернуться в заранее заданную устойчивую геометрию.

В процессе исследований и экспериментов, проведенных при создании большого разворачиваемого рефлектора с эффективной площадью ~ 160 кв. м., разработан комплекс новых технологий:

по изготовлению трансформируемой отражающей поверхности из металлического сетеполотна трикотажного плетения на основе вольфрамовой нити диаметром 15 мкм с золотым покрытием, включающий:

- технологию раскроя металлического сетеполотна в растянутом с фиксированным усилием состоянии;
- технологию сшивки заготовок отражающей поверхности эластичными швами;
- технологию формирования отражающей поверхности на эталонном носителе;
- технологию фиксации сформированной поверхности методом армирования сетеполотна

и созданного на базе технологии склеивания клеями холодного отверждения способа изготовления (сборки) углепластиковых элементов (конструкций) с минимальным отклонением от номинальных значений сборочных размеров, с высоким уровнем механических свойств конструкции.

Успешная сборка и испытания антенны подтверждают качество изготовления элементов изделия, правильность технологических решений.

МЕХАНИЗМЫ И РЕЖИМЫ ВВЕДЕНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК В ЖАРОСТОЙКИЕ СПЛАВЫ ДЕТАЛЕЙ РКТ

*В.А. Тарасов, Р.В.Боярская, Ю.П.Потапов,
П.В. Круглов, А.С. Филимонов*

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

cm12@sm.bmstu.ru

Повышение эксплуатационных характеристик деталей РКТ требует улучшения свойств материалов путем изменения микроструктуры. В частности, для жаростойких сплавов актуальной является проблема снижения размера зерна с 0,5 – 3 мм до 0,01 мм. Получение такой мелкозернистой структуры позволит снизить вероятность образования мик-

ротрещин и других дефектов в деталях ракет, космических аппаратов, самолетов в процессе эксплуатации. Известно, что при кристаллизации расплава центрами кристаллизации могут быть включения других материалов, например, легирующих добавок. При уменьшении размера и одновременном увеличении количества частиц легирующего порошка количество образующихся зерен растет, а размер зерна снижается. В данной работе исследуются возможности динамического насыщения расплава основного металла нанопорошками из легирующих добавок.

Легирующий состав может содержать компоненты с плотностью выше (высокоплотные) и ниже (низкоплотные) чем плотность расплава. Внедрение высокоплотных компонент на заданную глубину в тигле не вызывает затруднений, поскольку они способны погружаться под действием силы тяжести. Реализация процесса скоростного внедрения легковесных порошков при динамическом легировании сплавов не представляется возможным. В связи с этим предлагается метод, основанный на высокоскоростном проникании стержня из композиционного материала в тигель с жидкой фазой основного металла. Стержень изготовлен из нанопорошка, состав которого соответствует набору и пропорциям легирующих добавок.

В процессе движения в расплаве температура стержня повышается, и часть легкоплавких добавок расплавляется, что приводит к разрушению стержня. Начальная скорость стержня в расплаве (скорость метания) выбирается из необходимости достижения им заданной глубины в момент разрушения.

Модель легирования основана на расчете теплопереноса через поверхность стержня в процессе его движения и учитывает гидродинамическое сопротивление среды, что позволяет определять не только необходимую начальную скорость, но и габариты стержня – длину, диаметр. Таким образом, в работе изучены основные механизмы и определены режимы введения легирующих добавок в жаростойкие сплавы деталей РКТ.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ РКТ

А.Л. Галиновский, О.А. Троцкий, А.В. Мусеев

(МГТУ им.Н.Э.Баумана)

cm12@sm.bmstu.ru

Изучение конструктивно-технологических особенностей производства ряда деталей машиностроения показывает, что для некоторых

из них отличительной чертой является существенная вариативность геометрических параметров в зависимости от решаемых задач. При этом форма основной командной детали в геометрическом смысле остается неизменной. Другими словами в широком круге технологических процессов изготовления деталей присутствует такая вероятностная характеристика как масштабный фактор. К таким геометрически подобным деталям можно в частности отнести валы, втулки, подшипниковые узлы, лопатки и диски газотурбинных двигателей, стволы стрелково-пушечного вооружения, корпуса артиллерийских снарядов и т.д., технологии изготовления которых достаточно близки или полностью идентичны. Отметим, что анализ и выделение масштабного фактора, а точнее его присутствия в технологических процессах изготовления деталей, основывалось на элементах управления качеством. С этой целью были разработаны причинно-следственные диаграммы, типа диаграммы Исикава, для целого ряда технологических процессов.

Под понятием «масштабный фактор» в данном случае будем понимать вероятностное влияние геометрических параметров изучаемых объектов, в частности площади обрабатываемой поверхности, на величину погрешностей их изготовления или сборки (детали, узла, агрегата и т.д.). Хотя, на самом деле, оно гораздо шире и представляется вполне очевидным, что необходима его обобщенная формулировка.

Следует отметить, что в задачах математического моделирования технологической наследственности одним из наиболее устойчивых факторов наследования является фактор вероятностного влияния геометрических параметров (габаритов) заготовки на величину погрешности формо- и структурообразования изготавливаемой детали, т.е. масштабный фактор. Однако, изучение литературных источников показало, что в настоящий момент вопросы вероятностного влияния геометрических параметров изучаемых объектов на величину погрешностей их изготовления или сборки практически не изучены. В общем случае можно сказать, что роль «масштабного фактора» в формировании выходных параметров объектов производства недостаточно изучена и практически не формализована математически.

Рассмотренное выше проявление масштабного фактора точности носит качественный характер и не позволяет построить количественные соотношения, позволяющие дать числовую оценку его влияния на выходные параметры формообразования, в первую очередь на геометрические погрешности, возникающие в процессе изготовления деталей. Таким образом, целесообразным и перспективным является построение

вероятностных моделей позволяющих давать количественную оценку появления погрешностей изготовления, в зависимости от масштабного фактора точности.

МАГНИТНО – ИМПУЛЬСНАЯ ФОРМОВКА И СБОРКА ТРУБЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.Ю. Астапов, Е.В. Усачев

(«МАТИ» – РГТУ им. К.Э. Циолковского)

chumadin@mati.ru

Магнитно – импульсная обработка материалов (МИОМ) характеризуется тем, что давление на деформируемую заготовку создается непосредственным воздействием импульсного магнитного поля или через промежуточную упругую среду. При разработке технологических процессов изготовления и формовки трубчатых деталей и их сборке методом МИОМ, а также оценке возможностей применения этого метода необходим анализ конструкции деталей с учетом их формы, свойств материала, размеров заготовок, соответствия указанных параметров имеющейся в наличии магнитно-импульсной установки. Опыт исследований и внедрения показывает, что метод МИОМ может быть успешно применен при обработке: - меди и ее сплавов с толщиной стенки до 4 мм и диаметром до 100 мм; - алюминиевых сплавов 0 до 3 мм и размером до 120 мм; - пластичных сталей - до 2 мм и размером до 100 мм; - труднодеформируемых сталей и сплавов - до 1,5 мм и диаметром до 80 мм. Технологические операции магнитно-импульсной обработки выполняются по трем основным схемам: обжим, раздача и плоская штамповка. Способом МИОМ выполняются формообразующие и разделительные операции, можно соединять металлические детали с композиционными материалами, керамикой, стеклом, пластмассой, осуществлять сборку трубчатых конструкций.

Теоретический расчет режимов магнитно-импульсной обработки выбранных для деформирования заготовок включает в себя механический и электрический расчет и выбор оптимального электромеханического режима. Для этого составляются уравнения движения элемента заготовки на каждом из выбранных участков деформирования, которые приводятся к безразмерному виду, решаются численным методом и полученные данные вводятся в программы для моделирования процесса на ЭВМ. Разработка новых технологических процессов МИОМ, проек-

тирование новых видов оборудования и инструмента требуют предварительного расчета диапазона значений давления импульсного магнитного поля, действующего на поверхность заготовки. Рабочим инструментом для МИОМ являются индукторные системы, предназначенные для непосредственного преобразования накопленной в конденсаторной батарее магнитно-импульсной установки электрической энергии в механическую работу деформирования трубчатой заготовки. Основное назначение индукторов - создание импульсного электромагнитного поля в соответствии с формой заготовки. В зависимости от выполняемых операций индукторы могут быть одновитковыми, многовитковыми или с концентратором магнитного поля.

Оборудованием для МИОМ являются установки, которые можно рассматривать как комплекс, состоящий из технологического и энергетического оборудования. Выбор компоновочного и конструктивного решения отдельных блоков и МИУ в целом обусловлен при проектировании производительностью, потребляемой энергией, технологическим назначением. Выбор конкретного режима работы МИУ осуществляется на основе комплексного подхода при проектировании технологического процесса МИОМ путем математического моделирования электромеханических процессов, происходящих в системе МИУ-индуктор-заготовка.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ УЛЬТРАСТРУЙНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

*А.А. Барзов, А.В. Юнкер, В.Н. Харитонов
(ММПП «Салют», МГТУ им. Н. Э. Баумана)
barzov@sm.bmstu.ru*

В основе ультразвукового воздействия лежит удар сверхзвуковой компактной жидкостной или абразивно-жидкостной струи о твердотельную мишень (преграду), в результате чего происходит её разрушение. На данном физическом явлении разработана и эффективно применяется в различных отраслях промышленности ультразвуковая резка труднообрабатываемых материалов и очистка поверхностей изделий от плохоудаляемых загрязнений.

Однако физическая основа ультразвуковой обработки позволит использовать её в качестве перспективного метода диагностики и контроля состояния поверхностного слоя деталей, оценки его эксплуатаци-

онных характеристик. В этом случае ультразвука является не режущим инструментом, а средством локального динамического эталонированного воздействия на исследуемую область поверхности детали. Очевидно, что в зависимости от комплекса параметров качества поверхностного слоя, будет различной их реакция: характеристики гидроэрозионного разрушения и пластического деформирования, по которым можно судить об эксплуатационных свойствах объекта диагностики и контроля. Помимо прямых измерений результатов ультразвукового диагностического воздействия, например геометрических параметров микрогидрокаверны на поверхности контролируемой детали и продуктов микроразрушения, интерес представляет анализ физических явлений в зоне ультразвуковой диагностики, в частности информативных признаков волн акустической эмиссии.

Основными преимуществами предлагаемого метода оценки параметров качества ответственных деталей ЛА являются: легкая управляемость в широком диапазоне изменения параметров ультразвукового воздействия на материал детали, например удельной энергии струи; возможность прямого экспресс-определения основных эксплуатационных физико-механических характеристик поверхностного слоя деталей, в первую очередь его усталостно-прочностных параметров; принципиальная возможность использования ультразвуковой диагностики как в заводских, так и в полевых условиях.

Для эффективного использования ультразвуковой диагностики необходимо: разработать математическое и методическое обеспечение процедуры ультразвукового диагностирования и контроля; решить задачи по созданию соответствующего специализированного и унифицированного технологического оборудования для ультразвуковой диагностики; провести широкомасштабную апробацию метода на предприятиях отрасли и в смежных отраслях, в частности на объектах ТЭК.

Реализация этого нового метода контроля является актуальной проблемой современного машиностроения, в первую очередь его ведущих отраслей: авиационной и ракетно-космической промышленности, атомной и тепловой энергетики, газоснабжения и т.д.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
СВЕРХЗВУКОВОГО ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ В
ОТКРЫТОЙ АТМОСФЕРЕ**

С. И. Головин, А. Ф. Пузряков

(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

S_Golovin@inbox.ru

Разработана универсальная математическая модель, заключенная в программу расчетного комплекса MathCad, для определения параметров поля течения газа и частиц в нем, позволяющая решать на ЭВМ задачи в области слабедорасширенных $1 < n < 2-3$ струй и сверхзвуковых скоростей истечения $1 < M < 3$ плазмообразующего газа. Методика позволяет определить оптимальные значения: расстояния напыления; требуемой мощности плазмотрона для разгона и разогрева частиц с заданными свойствами; размера частиц для заданной мощности; размера частиц из более дешевого диапазона для возможных мощностей плазмотрона и требуемых энергий частиц; температуры и скорости частиц перед подложкой, по которым можно найти энергию частиц перед ударом и, зная достаточную для данных взаимодействующих материалов энергию активации прочной связи, получить требуемые режимные параметры плазмотрона и не допускать перерасхода энергии; температуры и скорости струи перед подложкой, что вместе со знанием энергии частиц дает возможность определить разогрев подложки от плазмотрона в целом. Температура и скорость напыляемых частиц рассчитывается в следующей последовательности:

1. По заданным значениям мощности плазмотрона, расхода и состава плазмообразующего газа определяется удельная энтальпия газа;
2. Плазменный поток разбивается на три части:
 - а) цилиндрическую часть от ввода частиц до среза сопла, в пределах которой температура и скорость газа принимаются постоянными
 - б) газодинамическую сверхзвуковую часть, в пределах которой температура и скорость газа принимаются постоянными
 - в) дозвуковую часть, в пределах которой температура и скорость газа уменьшаются в соответствии в эмпирическими зависимостями
3. Вычисляют температуру $T_{г_с}$ и скорость $v_{г_с}$ струи в цилиндрической части сопла.
4. Рассчитывают температуру $T_{г_сз}$ и скорость $v_{г_сз}$ сверхзвуковой части струи.
5. Рассчитывают температуру $T_{г_дз}(x)$ и скорость $v_{г_дз}(x)$ дозвуковой части струи.

6. Определяют температуру $T_{\text{ч}}(x)$ и скорость $v_{\text{ч}}(x)$ напыляемых частиц на различных расстояниях от среза сопла плазмотрона.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

*В.М. Корнеева, С.С. Корнеев
(МГТУ им. Н.Э.Баумана)
cm12@sm.bmstu.ru*

Выбор технологического процесса производства деталей строится на выборе метода обработки, который определяется техническими требованиями, основным из которых является качество обработанной поверхности.

Долгое время считалось, что увеличение скорости резания приводит к улучшению качества обработанной поверхности, повышению точности обработки, но при этом снижается стойкость режущего инструмента.

Исследования теплофизики и динамики сверхскоростного фрезерования, проведённые в МГТУ им.Н.Э.Баумана, позволили решить вопрос повышения стойкости лезвийного режущего инструмента при скоростях свыше 50 м/с.

Результаты оценки качества поверхности обработанной сверхскоростным фрезерованием показали, что шероховатость поверхности снижается с увеличением скорости резания и при обработке нержавеющей стали 08X18H10T со скоростью 100 м/с Ra достигало 0,3...0,4 мкм, а при обработке латуни ЛС59-1 - Ra=0,15 мкм.. Параметр t_p достигает значений, получаемых на доводочных операциях с использованием абразивного инструмента – $t_p = 50\%$ при скорости 100 м/с и с увеличением скорости возрастает. Степень и глубина наклёпа снижаются с увеличением скорости фрезерования и при обработке нержавеющей стали 08X18H10T, цветных сплавов Амг5 и ЛС59-1 со скоростью 200 м/с глубина наклёпанного слоя оказывается в пределах 15...5 мкм, степень наклёпа – 12...7%.

Таким образом, технологические возможности метода сверхскоростного фрезерования заключаются не только в интенсификации обработки, но и в повышении качества обработанной поверхности. Шероховатость поверхности оказывается сравнимой, а иногда даже ниже получаемой при абразивной обработке: шлифовании, хонинговании, притир-

ке. Это даёт возможность отказаться от использования в технологических процессах изготовления деталей чистовых и доводочных операций, исключить возможность шаржирования обработанной поверхности абразивным инструментом.

**О ВЛИЯНИИ ОТНОШЕНИЯ ДЛИН СТОРОН ДЕТАЛЕЙ
КОРОБЧАТОЙ ФОРМЫ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПАРАМЕТРЫ ПНЕВМОТЕРМИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ В
РЕЖИМЕ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ**

М.В. Ковалевич, В.А.Лазарев

(«МАТИ» - РГТУ имени К.Э. Циолковского,

ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»»

chumadin@mati.ru

В практике отечественного и зарубежного машиностроения последних лет все более широкое применение находят процессы штамповки листовых деталей в режиме сверхпластичности. Наиболее отрабатанным процессом сверхпластической штамповки является в настоящее время пневмотермическая формовка (ПТФ) – формообразование листовых деталей избыточным давлением газа при температурно-скоростных условиях деформации, обеспечивающих проявление штампуемым сплавом свойств сверхпластичности. Поддержание оптимальной температуры достигается использованием изотермической оснастки. Поддержание постоянной скорости деформации представляет собой более сложную задачу и требует контролируемого изменения давления формирующего газа по ходу процесса.

В основу методики расчета технологических параметров при ПТФ деталей коробчатой формы в режиме сверхпластичности положен принцип обеспечения контролируемой скорости деформации участка, получающего наибольшую степень деформации. Получены расчетные зависимости для определения давления и времени формовки, которые показывают, что технологические параметры формовки напрямую зависят от отношения длин сторон детали. Анализ модели показал, что с увеличением этого отношения требуемое давление формовки уменьшается, а время формовки увеличивается. При дальнейшем «вытягивании» детали (отношение больше 3) влиянием отношения длин сторон можно пренебречь. Данные выводы получили экспериментальное подтверждение в лаборатории каф. ТПЛА МАТИ.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТОРОВЫХ БАЛЛОНОВ С
ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОЙ СХемой АРМИРОВАНИЯ**

*Н.Т. Чан, М.А. Комков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
komkov@sm.bmstu.ru*

Выполнены исследования стеклопластикового торового баллона, конструкция которого включает в себя двухслойную стеклопластиковую силовую оболочку (СО), состоящую из поперечного и продольного слоев; резиновую герметизирующую оболочку-лейнер, обеспечивающую полную реализацию прочности стеклопластика; один узел штуцера, находящийся в области центрального отверстия тора, где удобно располагать редуктор давления при использовании баллона в дыхательных аппаратах.

Вследствие исключения одноразовых песчаных оправок из технологического процесса изготовления, возможности выбора большей ширины наматываемой ленты, а также применения последовательно-параллельной схемы намотки слоев СО, цикла изготовления торового баллона резко сократился. Экспериментальное исследование и испытание торового баллона на разрушение показали, что композитный баллон с данной конструктивной схемой обеспечивает хорошую работоспособность.

Представлены испытания на внутреннее давление торовых баллонов, изготовленных одновременной [1] и отдельной намоткой продольных и поперечных слоев СО. Проанализированы результаты тестирования слоев оболочки и показана степень их соответствия расчетным значениям. Показаны характер и место разрушения СО торовых баллонов. Приведены сравнительные массовые характеристики цельнометаллических и стеклопластиковых торовых баллонов, применяемых в дыхательных аппаратах.

Литература.

1. Комков М.А., Н.Т. Чан. Композитный торовый баллон для дыхательных аппаратов с продольно-поперечной схемой армирования силовой оболочки // Известия вузов, сер. «Машиностроение». – 2006. - № 3. – С. 10-19.

**КРИТЕРИИ ПРЕДЕЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В
ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ**

А.С. Чумадин, М. Гермези
(«МАТИ» - РГТУ имени К.Э. Циолковского)
chumadin@mati.ru

Основным дефектом, ограничивающим возможности штамповки, является разрушение заготовки после исчерпания материалом своих пластических свойств. Считается, что разрушение заготовки происходит под действием растягивающих внутренних усилий, возникающих в заготовке в процессе ее пластического деформирования.

В настоящее время известны и широко используются энергетические и кинематические критерии предельного деформирования.

Энергетические критерии разработаны и исследованы в трудах Г. Закса, И. Лубана (1946), Н. Свифта, А.Д. Томленова, В.Д. Головлева, Г.Д. Деля и др. авторов. Они предсказывают обычно момент максимальной несущей способности заготовки (рассеянную шейку).

Кинематические критерии созданы работами Э. Марчиняка, К. Кужинского (1967), А.Д. Матвеева и др. Эти критерии предсказывают момент локализации деформации (локализованную шейку) в небольшой части заготовки, когда деформирование большей части заготовки приостанавливается. Эти критерии считаются наиболее подходящими для процессов листовой штамповки, т.к. они предсказывают по существу предразрушающее состояние заготовки.

Недостатками известных критериев является то, что они не учитывают влияние активных (интенсифицирующих) и пассивных (сопутствующих) факторов штамповки.

В МАТИ в 1990 годах был разработан новый (геометрический) критерий предельного деформирования, математическая запись которого имеет вид:

$dS/dH \rightarrow \pm \infty$, где dS – изменение толщины заготовки по ее длине H , в направлении действия наибольшего растягивающего напряжения.

С использованием этого критерия были решены новые задачи:

- установлены предельные возможности штамповки бездефектных заготовок;
- выполнены расчеты процессов штамповки в условиях действия сжимающего гидростатического давления;
- установлены предельные деформации заготовок в режиме сверхпластического деформирования (скоростного упрочнения при постоянной скорости деформации).

- проведены расчеты процессов с учетом влияния сил контактного трения.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что новый критерий удовлетворительно отражает реальную механику предельного пластического деформирования. Это дает возможность использовать этот критерий для решения многих других задач листовой штамповки.

МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ КОСМИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ ПРИ ЕЁ РЕГУЛИРОВАНИИ

***В.А. Тарасов, А.С. Филимонов, Н.В. Полухин, В.А. Романенков,
Р.В. Боярская
(МГТУ им.Н.Э.Баумана, РКК «Энергия»,
«Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»)
tarasov@sm.bmstu.ru***

Специфика обеспечения точности положения точек поверхности антенны определяет актуальность применения методов деформационного регулирования выходных геометрических параметров. Так для регулирования поверхности антенны РКК «Энергия» в конструкции предусмотрены ванты-оттяжки для изменения положения точек поверхности антенны, математическая модель и алгоритм оптимального выбора регулировочных смещений.

Данная работа посвящена углублению представлений о механизме деформационного регулирования антенны.

В процессе исследования установлено, что между величинами исходной погрешности и регулировочного смещения существует жесткая корреляционная зависимость, вид которой определяется конструкцией антенны. Эта зависимость позволяет по измеренному полю исходных погрешностей назначить величину регулировочных смещений.

Регулирование, выполненное на основе установленной зависимости, позволяет уменьшить погрешность в среднем в 5 раз. Отклонения значений остаточной погрешности, полученных с помощью регрессионной зависимости и методики работы /1/, составляет $\pm 0,12$ мм.

Значительный интерес, требующий дальнейшего изучения, представляет установленный в ходе исследований наследственный характер связи между исходными и остаточными погрешностями.

Список литературы:

1. Оптимизация процесса регулирования формы поверхности раскрывающихся космических антенн/ В.А. Тарасов, Н.В.Полухин и др.// Сборка в машиностроении и приборостроении – 2005, №6, с.32-35.

УЛЬТРАСТРУЙНАЯ ОБРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РАКЕТОСТРОЕНИИ

*В.С. Пузаков, С.К. Сальников, К.Е. Сидельников
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГУ им. М.В. Ломоносова)
barzov@sm.bmstu.ru*

В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан новый способ ультразвуковой обработки жидкостей, в частности смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), который реализуется на традиционной гидроструйной установке (ГСУ). Известно, что СОЖ являются неотъемлемым фактором машиностроительного производства, и используются в процессах структуро- и формообразования различных деталей, в частности деталей РКТ. СОЖ способствуют повышению качества обрабатываемой поверхности и стойкости рабочего инструмента.

Классическое использование ГСУ заключается в проведении процессов резания струей жидкости материалов практически любой прочности.

Процесс формирования сверхзвуковой струи жидкости происходит следующим образом. Первоначально рабочую жидкость, в качестве которой чаще всего выступает вода (в нашем случае – это СОЖ), сжимают в системе высокого давления, которая работает на базе плунжерного насоса или мультипликатора до давлений 200-300 МПа. Затем сжатую жидкость через трубопровод высокого давления подают в струеформирующее сопло малого диаметра (0,1-0,2 мм), в результате прохождения через такое сопло на выходе мы получаем сверхзвуковую струю жидкости со скоростью около 1000 м/с (и выше). Затем сверхзвуковая струя жидкости тормозится о специальную преграду (мишень), выполненную из сверхтвердого материала, в результате чего происходит активация самой жидкости. Главное отличие ультразвуковой технологии от классического гидрорезания заключается в том, что рабочая жидкость превращается из режущего инструмента в обрабатываемый материал.

В качестве обрабатываемой жидкости использовали бактериально загрязненную СОЖ – 10%-й эмульсон Укринол-1. Проведенные эксперименты показали, что обработка СОЖ сопровождается диспергированием исходных частиц масляной фракции в 3-5 раз, увеличением анти-

фрикционных свойств ($\geq 30\%$), а главное обеспечивается требуемое снижение бактериального загрязнения после двукратной обработки (микробное число снижается более чем в 10^3 раз и не увеличивается в течение минимум 1 года). Данные результаты имеют самостоятельное практическое значение.

В настоящее время ведется совместная работа с НИАТ по реализации нового способа получения сверхскоростных струй – роторно-струйной обработке (PCO), отличающейся от представленного выше способа, который имеет некоторые недостатки. Принципиальное отличие PCO от схемы с применением ГСУ состоит в использовании высокооборотного вращения определенной массы жидкости для получения гидростатического давления, а затем и ультразвуку. На данный способ обработки различных жидкостей получен патент РФ № 2270717.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫМ МЕТОДОМ

В.А. Горелов, М.Г. Яковлев
(ФГУП «ММПП «Салют»)
barzov@sm.bmstu.ru

Выбор режимов резания в производственных условиях является многофакторным процессом. Имея в наличии ограниченное число исходных данных, технолог должен определить режимы резания и инструмент, обеспечивающие требования к качеству обработки детали, максимальную производительность и минимальную стоимость обработки. Одним из методов по выбору инструмента и режимов резания на стадии подготовки производства является экспресс-метод на основе акустической эмиссии процессов АЭ [1].

Проведя экспериментальные исследований инструмента из твердого сплава разных фирм при обработке резанием титановых и никелевых сплавов, был сделан корреляционный анализ параметров АЭ: RMS^2 , RMS , RMS^2/V , RMS^2P*V , RMS/PV , $RMS^2/(P*V)$, $RMS*P*V$, RMS^3 . Где V – скорость резания в [м/мин], P – равнодействующая сила резания в [Н], RMS - среднее квадратичное значение сигнала АЭ на интервале времени T , которое рассчитывается по формуле:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} [f(t)]^2 dt} .$$

Анализ показал, что для каждой пары инструментальный материал – обрабатываемый материал, существует свой параметр АЭ, коэффициент корреляции которого со стойкостью не опускается ниже $r=0,96$.

Результаты экспериментов позволяют сделать вывод о том, что оптимальные режимы для различных пар инструментальный материал – обрабатываемый материал можно находить по одному параметру АЭ, а корреляционный анализ со стойкостью должен проводиться в каждом конкретном случае по разному параметру АЭ.

Литература:

1. Барзов А.А. Эмиссионная технологическая диагностика. М.: Машиностроение, 2005. 383 с.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ДЛИННОМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

А.Г. Рыбин

(НИИТ)

barzov@sm.bmstu.ru

Вибрации инструмента при фрезеровании длинномерных деталей, таких как панели и стрингера, снижают производительность процесса, стойкость инструмента и качество обработанной поверхности. Понимание основных причин возникновения вибраций и способов их устранения являются актуальной проблемой для высокопроизводительной механической обработки в авиационной и космической промышленности. В связи с этим разработаны математическая модель и алгоритмы, позволяющие численно исследовать процесс фрезерования с учетом динамики инструмента.

В простейшем случае, фреза представляется в виде сосредоточенной массы приведенной к оси инструмента, и её колебания описываются системой дифференциальных уравнений. Для моделирования процесса резания используется полиномиальная аппроксимация траекторий режущих кромок и динамический массив обрабатываемой поверхности. Преимущество численного моделирования, перед аналитическим исследованием состоит в том, что модель можно значительно усложнять, применяя те же методы анализа процесса. Так можно учитывать эффект дисбаланса, переменность припуска при обработке, влияние размерного износа, применять различные модели для сил резания, что за частую невозможно при аналитическом исследовании динамических процессов и анализа их устойчивости.

Численное моделирование процесса обработки позволяет оценить характер возникающих вибраций, силы резания, волнистость обрабатываемой поверхности. Данной моделью подтверждается гипотеза, возникновения автоколебаний за счет резания по следу. С её помощью можно получить границы областей устойчивости периодического движения центра инструмента, а так же подобные границы по допустимому уровню волнистости поверхности, что является более практичным подходом. Характер границ областей устойчивости процесса показывает нелинейную зависимость качества обработки от таких технологических параметров, как скорость резания и подача на зуб. Такая информация позволяет назначать наиболее производительные режимы обработки, допустимые по качеству.

Данные расчетов, выполненных с использованием модели, успешно применялись в идентификации сигналов, записанных при обработке фрезерованием, с датчиков сил и вибраций. Изучение на модели феноменов происходящих в системе позволяет наиболее достоверно интерпретировать принимаемый с датчиков сигнал.

Численные исследования процесса фрезерования по такой модели, соответствующей конкретной технологической системе, позволяют изучить причины возникновения вибраций и дать рекомендации по их снижению, избегая трудоемких и дорогостоящих натурных экспериментов.

**РАДИОВОЛНОВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ
НЕПРОКЛЕЯ В ТРЕХСЛОЙНЫХ СОТОВЫХ ПАНЕЛЯХ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

А.Н. Королев, В.Д. Баскаков, В.А. Тарасов, Ю.В. Герасимов
(МГТУ им. Н.Э.Баумана)
baskakov@sm.bmstu.ru

Работа посвящена актуальной проблеме повышения качества и надёжности трёхслойных сотовых панелей, применяемых в ракетно-космической технике.

Изучается возможность применения радиоволнового метода неразрушающего контроля, основанного на регистрации сканирующим широкополосным приёмником спектров электромагнитного излучения, из исследуемой области, помещённой между гибкими обкладками ёмкостного рабочего датчика и последующем анализе получаемых спек-

тров. Метод реализован в специализированном аппаратно-программном комплексе.

Объектом контроля являлись образцы трехслойной панели, используемой в телекоммуникационных спутниках. Панель состоит из двух несущих слоев (плоских обшивок), пространство между которыми заполнено металлическими сотами и закладными элементами: втулки, бобышки, теплопередающие узлы. Элементы конструкции склеены между собой. Для сравнительного анализа спектров, панели выполнены бездефектными и с искусственно созданными дефектами непрочности, имитирующими производственные погрешности.

Для получения количественных оценок, характеризующих отличия сигналов от бездефектных и дефектных образцов, проведено разложение в ряд Фурье огибающих линий спектров с последующим статистическим анализом.

Показано, что в предложенном методе контроля в качестве признака наличия непрочности между элементами трехслойной панели можно принять разность фаз спектров дефектного и бездефектного образцов.

Предложен алгоритм радиоволнового контроля качества склейки реальных крупногабаритных панелей в производственных условиях.

КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОРОТКОХОДОВЫХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СТЕНДОВ

В.З. Болотин, А.В. Сгибнев
(ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля», МГТУ им. Н.Э.Баумана)
cm12@sm.bmstu.ru

Технология изготовления ответственных узлов и агрегатов космической и авиационной техники предполагает обязательные наземные испытания как вновь разработанных конструкций, так и испытания контрольных образцов серийных изделий. Усталостные испытания агрегатов ракетно-космической техники проводятся на электрогидравлических испытательных стендах, нагружающим устройством в которых часто являются короткоходовые гидроцилиндры (ход 40...60мм). В настоящее время существует необходимость разработки новых конструкций авиаракетной техники в кратчайшие сроки с наименьшими затратами. Это заставляет проводить стендовые испытания образцов на циклическую усталость при повышенных частотах. Поэтому стала актуальной задача разработать и изготовить гидроцилиндры, которые долж-

ны иметь минимальные габариты и движущиеся массы, большой ресурс, возможность воспринимать большие поперечные нагрузки на штоке при минимальном трении.

Указанные требования достигаются конструктивными и технологическими приемами. Разработаны методики, позволяющие конструировать командные детали короткоходовых динамических гидроцилиндров: опор штока, поршня, выходных уплотнений штока.

Опоры штока короткоходовых динамических гидроцилиндров с целью уменьшения габаритов выполняются негидростатированными из антифрикционных материалов. Для уменьшения трения и охлаждения опор организуется проток масла из полости давления в дренаж. Разработана методика расчета таких опор с учетом перекосов штока в опоре при действии больших поперечных нагрузок.

Разработана методика расчета бесконтактного поршня, в основу которой положены допустимые перетечки между полостями гидроцилиндра, которые могут достигать 5...7 процентов от номинального расхода сервоусилителя.

Разработанная система выходных уплотнений штока гидроцилиндра в сочетании с системой принудительной откачки масла из дренажной системы, обеспечивает снижение трения с 20...40 кгс до 3...5 кгс при отсутствии утечек при любом положении гидроцилиндра.

Разработаны технологические приемы изготовления гидроцилиндров, учитывающие повышенные требования к соосности корпуса гидроцилиндра и опор штока.

Благодаря разработанным методикам изготовлена серия гидроцилиндров для динамических стендов, позволяющая проводить усталостные испытания агрегатов ракетно-космической техники длительностью тысячи часов с высокой точностью, при повышенной частоте нагружения.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

А.И. Кондаков

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

nikmf@mx.bmstu.ru

Каждый из элементов изделий однократного применения, к которым относят многие изделия ракетно-космической техники, должен гарантированно обеспечивать достижения заданных значений доминирующих показателей его эксплуатационного качества – эксплуатационной

характеристики (ЭХ). Последнего добиваются принятием и реализацией соответствующих проектных конструкторских и технологических решений (ТР). При изготовлении деталей таких изделий в обычной практике контрольные, соответствующие отдельным этапам процесса изготовления, показатели качества (ПК) строго регламентируют и при существенных отклонениях их значений от заданных, детали бракуют.

Возможна разработка математических моделей, связывающих значения доминирующих технологических ПК и вероятность гарантированного обеспечения ЭХ. При наличии таких моделей возможна отличающаяся от традиционной стратегия обеспечения ЭХ: если при реализации проектного ТР достигнутые значения ПК отличаются от заданных, выполняют направленную модификацию ПК, соответствующих еще нереализованной части ТР таким образом, что совокупность значений ПК реализованной и нереализованной частей ТР, обеспечит достижение ЭХ.

Появляется реальная возможность гарантированного и экономически оправданного обеспечения ЭХ рассматриваемых деталей в условиях реального производства и при действии различных возмущающих факторов. Предлагаемый подход прошел практическую проверку при изготовлении деталей специзделий: разрывных предохранительных мембран и разрушаемых деталей стержневого типа.

ПРОИЗВОДСТВО КОНСТРУКЦИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

В.И.Ломаев

(ФГУП «Пермский завод «Машиностроитель»)

h_sagatelyan@mail.ru

На Пермском заводе «Машиностроитель» выполнен комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, по итогам которых разработаны и внедрены новые технологические процессы изготовления деталей из композиционных материалов (КМ) для изделий ракетно-космической техники, в частности, для твердотопливного ракетного двигателя и рефлекторов параболических антенн космических аппаратов.

В рамках разработки новых технологий существенно усовершенствованы процессы намотки и выкладки, а также произведена адаптация

метода ультразвукового контроля применительно к определению реальной структуры и физико-механических свойств формируемых КМ.

Существующие технические решения не позволяют назначать режимы намоточных операций, исходя непосредственно из условий эксплуатации изделия. Эксплуатационные свойства деталей, изготовленных способом намотки, могут быть установлены практически лишь на основе проведения испытаний уже полностью изготовленного изделия.

Актуальными являются разработки, направленные на то, чтобы эксплуатационные свойства изделий целенаправленно формировались непосредственно в процессе выполнения намоточных операций за счет формирования требуемой структуры композиционного материала, представляющего собой перекрещивающиеся под тем или иным углом в несколько слоев волокна из различных материалов.

В качестве примера рассмотрен расчет конструкции детали «Компенсатор», применяемой в составе трубопроводов и имеющей сложную пространственную конфигурацию. Расчет производили методом конечных элементов с помощью пакета CosmosWorks, интегрированного в систему SolidWorks. В результате расчета получены распределения значений усилий и напряжений, возникающих в «Компенсаторе» при смещении его торцов в процессе эксплуатации. Кроме того, получены распределения перемещений и деформаций стенок «Компенсатора» под действием внутреннего давления среды и смещения торцов.

Для оптимизации процессов намотки разработана САПР НАМ, позволяющая назначать параметры намотки и, соответственно, режимы работы намоточного станка в зависимости от требуемых эксплуатационных параметров детали. Программное обеспечение создает требуемую конструкцию оправки, вычисляет шаблон укладки волокон на оправку, т.е. в автоматизированном режиме обеспечивает варьирование углами пересечения волокон толщиной стенки в различных зонах детали, а также создает управляющую программу для намоточного станка.

Реализация такой технологии стала возможной, благодаря проведению комплекса экспериментальных исследований по определению зависимости физико-механических свойств (модуля упругости, коэффициента Пуассона, предела прочности и т.д.) материалов образцов, изготовленных методом намотки, от параметров, характеризующих структуру КМ (угол перекрещивания волокон, количество волокон в пряди, материалы волокна и связующего вещества и т.д.).

Усовершенствованные процессы выкладки позволили освоить производство параболических отражателей антенн космических аппара-

тов диаметром до 2,5 м, изготавливаемых из углепластика. Развитие процессов выкладки заключается в оптимизации схемы формообразования изделия, повышении точности изготовления технологической оправки за счет совершенствования технологии ее механической обработки, а также определения оптимального режима отверждения наполненной полимерной композиции.

В целях минимизации термических деформаций технологической оправки разработан технологический процесс изготовления параболических оправок сводчатой конструкции из нового термостабильного материала – эвкрипитбетона.

Для минимизации исходных отклонений формы технологической оправки, была разработана технология доводки связанным алмазно-абразивным инструментом параболической поверхности по методу «жестких осей». Требуемая параболическая форма получается как следствие отклонений от формообразуемой сферы. Для обеспечения требуемой формы оправки разработана специальная САПР доводочной операции, позволяющая изготавливать как сплошные оправки из ситалла, так и сводчатые оправки из эвкрипитбетона с такой формой рабочей поверхности параболоида, которая в сочетании с систематическими погрешностями, возникающими в процессе выполнения термической операции отверждения полимерного КМ, обеспечивают минимальность погрешностей формы изделия.

В качестве основного был выбран метод ультразвукового контроля. Этот метод позволяет получать информацию не только по структуре композитов, но и обеспечивать измерение упругих свойств материала. Применение ультразвуковых методов затрудняется тем обстоятельством, что основные разработки здесь выполнены в области ультразвуковой дефектоскопии металлов, а металлы по таким характеристикам как скорость звука и затухание звука принципиально отличаются от КМ.

Поэтому возникла необходимость создания методов ультразвукового контроля именно композиционных материалов. В рамках усовершенствования методов ультразвукового контроля создан новый ультразвуковой датчик-зонд, предназначенный для ультразвукового контроля состава и структуры КМ. Такой датчик основан на создании градиентного КМ, используемого в качестве демпфера пьезоэлектрического преобразователя, а также специального КМ, обладающего исключительно высоким звукопоглощением на частотах порядка 1 МГц.
