

Секция 19

Производство конструкций ракетно-космической техники**ОБ АФАНАСЬЕВЕ С.А.*****В.Ан.Мусеев*****(ЗАО «Компомаш»)*****sm12@sm.bmstu.ru***

Первое знакомство с Сергеем Александровичем состоялось на итоговой коллегии Министерства в 1973 году, тогда я работал начальником механосборочного цеха автоматики ЖРД на Красноярском машиностроительном заводе. Меня поразила глубина знаний Сергея Александровича вопросов организации производства, сложнейших научно-технических и технологических проблем. Очень хорошо запомнились выступления А. М. Исаева о создании двигателей «утопленников» ЖРД для МБР разработки В. П. Макеева. Сложнейшие организационно-технические и финансовые вопросы были решены прямо в зале коллегии, в результате чего, страна получила гамму МБР не имеющих аналогов по конструкции в мире до сих пор. МБР «Синева» надежно защищает нашу Родину от любых посягательств и сегодня.

Сергей Александрович большое внимание уделял подготовке кадров. Под его руководством была создана надежно работающая система их подготовки. При предприятиях создавались ТУ, ПТУ, техникумы, заводы, ВУЗы, филиалы ведущих Советских институтов (МГТУ им. Баумана, МАИ, МАТИ, КАИ, Военмеха и др.)

С конца 60-х годов начала действовать система подготовки резервов руководящего состава от мастера до заместителя министра с переобучением в институте повышения квалификации и его кафедрах на предприятиях, Академии народного хозяйства СССР, что дало возможность не испытывать дефицита в руководящих кадрах (к слову сказать сегодня трудно подобрать руководителей выше начальника цеха, отдела).

Учитывая дефицит станков с ЧПУ в отрасли, который покрывался в основном закупками по импорту и станками производства МАП, Сергей

Александрович практически организовал подотрасль Станкостроения в Министерстве, что позволило снизить закупки станков с ЧПУ за рубежом. Сергей Александрович помогал заводам и министерству станкостроения, так благодаря его участию появились Ивановские ИРы (Кабайдзе В.И.) сначала с СУкупаемыми у фирмы «БОШ», а затем и с 15 координатными СУ разработанными в Киеве и освоенными серийным производством.

Сергей Александрович умел ставить, казалось бы, невозможные технические задачи, но с привлечением отраслевых институтов, РАН, высшей школы они успешно решались.

Сергей Александрович, глубоко знал вопросы технологии, т.к. прошел в молодости замечательную практическую школу. Особое внимание Сергей Александрович уделял заготовительному производству, требовал увеличения КИМ (коэффициента использования металла). Не легко доставалось это специалистам-металлургам, но поставленные задачи решались путем создания новых процессов и технологий и специального отраслевого оборудования.

У Сергея Александровича была практика посещения заводов, с прибытием на место всех руководителей главков, в т.ч. функциональных, институтов. Вопросы оказания практической помощи заводам после их рассмотрения на месте решались или отклонялись без всякой бюрократической волокиты.

Сергей Александрович был и остается Отцом создания отрасли, великим технологом и организатором производства, учителем, воспитавшим славных продолжателей начатых им дел.

ЛИТЬЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ

***А.Ю. Ершова, М.И. Мартыросов
(МАИ)***

Yershova_A@mail.ru

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) обладают целым рядом преимуществ по сравнению с металлами, их сплавами, бетоном, стеклом и часто становятся серьезной альтернативой традиционным конструкционным материалам. Одним из главных достоинств ПКМ является высокий уровень их удельных характеристик. Кроме того, технологические процессы формования изделий из ПКМ позволяют получать изделия сложной формы и характеризуются существенно меньшей

энергоемкостью. Указанные преимущества относятся и к достаточно новому классу зернистых ПКМ – литьевому искусственному камню (ЛИК), предназначенному для замены натурального природного камня и некоторых других материалов в строительстве, машиностроении и ряде высокотехнологичных отраслей современной техники.

ЛИК – это зернистый (часто мелкозернистый) композиционный конструкционный материал, состоящий из ненасыщенной полиэфирной смолы и инертного наполнителя. В зависимости от используемой смолы, наполнителя, красящих пигментов можно имитировать цвет и фактуру натурального природного камня: гранита, мрамора, малахита, оникса, змеевика и т.д. В отличие от природного камня, материалу присуще отсутствие радиоактивного фона, что позволяет использовать ЛИК при реализации некоторых перспективных нанотехнологий. Объектом применения этих материалов могут, например, являться несущие системы (станины, стойки, основания) для достаточно широкого спектра высокоточных станков, контрольно-измерительных машин и нанотехники, где использование традиционных материалов исчерпало себя и не позволяет выйти на требуемые технические параметры.

В работе подробно рассматривается литьевая технология получения изделий практически любой сложности из ЛИК, в том числе и объемных длинномерных, где сохраняются природные качества и внешний вид натурального камня. Для производства использовалась тиксотропная ненасыщенная полиэфирная смола с коротким временем гелеобразования, высокой вязкостью, предускоренная, малой усадкой, низким экзотермическим пиком и малой эмиссией стирола на ортофталевой основе производства фирмы ASHLAND, США. В качестве наполнителя применялись кварцевый песок, мраморная крошка, карбонат кальция и магния, гидроксид алюминия и ряд других материалов. В качестве катализатора, ускоряющего реакцию полимеризации, использовался метилэтилкетон пероксид в сочетании с кобальтовым ускорителем. Применялись также красящие пигменты фирмы BAYER (Германия) и фирмы INCRETE SYSTEMS (США).

Выработаны практические рекомендации по использованию рассматриваемого зернистого ПКМ в авиационной и космической промышленности.

РАСЧЕТЫ ПРУЖИНЕНИЯ ПРИ ФОРМОВКЕ ДНИЩ**А.С.Чумадин, Н.В.Ульвис****(МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского) chumadin@mati.ru****(Выполнено по программе «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010)»)**

Целью работы являлось исследование изменения формы и размеров деталей типа днищ в результате упругой отдачи от рабочей поверхности матрицы после гидроформовки и снятия внешней нагрузки.

С использованием уравнений Коши, связывающий малые перемещения и деформации [1], были получены приближенные аналитические выражения для расчета упругих перемещений кольцевых элементов детали в радиальном и меридиональном направлениях. При этом радиальные перемещения, как показали расчеты, оказались на порядок больше меридиональных.

В зависимости от условий закрепления периферийной части детали при ее разгрузке распределение упругих перемещений по образующей сильно различается.

Если процессы гидроформовки и последующей разгрузки происходят при неподвижной периферийной части (фланце) заготовки, то наибольшее радиальное перемещение детали происходит в полюсе и убывает до нуля к периферийной части.

Если процесс гидроформовки осуществляют при неподвижном фланце заготовки, а затем (после разгрузки) фланец удаляют, то наибольшее радиальное перемещение детали также происходит в полюсе, однако не убывает до нуля в периферийной части.

Теоретические расчеты были проверены экспериментально. Использовались листовые заготовки из алюминиевого сплава АМг6М толщиной 1,0 мм. Формовка осуществлялась в свободном состоянии. Для измерения упругих перемещений использовались индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Хорошие результаты были получены при формовке и разгрузке с неподвижным фланцем детали. Погрешность в расчете перемещений не превышала 10-15%. Во втором случае было получено только косвенное подтверждение правильности расчетов из-за сложности измерения перемещений в периферийной части раскрепленной (обрезанной) детали.

Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том VII. Теория упругости. Изд-во «Наука». ГРФМЛ. – М.; 1965. – 203 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ НАКАТЫВАНИИ
РЕЗЬБ В СИСТЕМЕ DEFORM****А.Н.Афонин, Л.О.Конюхова
(ОрелГТУ) af@au.ru**

Значительная часть деталей ракетно-космической и авиационной техники имеет резьбы. Известно, что обработка пластическим деформированием – накатывание позволяет существенно повысить статическую и, в особенности, усталостную прочность; износостойкость; герметичность; коррозионную стойкость и другие эксплуатационные характеристики резьбовых деталей. Однако, в настоящее время резьбонакатывание не нашло широкого применения для получения ответственных изделий из труднообрабатываемых или предварительно упрочненных материалов, применяемых в авиакосмической промышленности. Одной из основных причин ограничений применения резьбонакатывания является опасность разрушения заготовки при накатывании резьбы.

В настоящее время выбор рациональных радиальных обжатий, исключающих возможность разрушения заготовки, осуществляется экспериментальным путем. В связи с высокой трудоемкостью и стоимостью подобных исследований разработка новых прогрессивных технологических процессов накатывания резьб на заготовках из труднообрабатываемых или предварительно упрочненных материалов является весьма затруднительной.

Для исследования напряженно-деформированного состояния заготовки при резьбонакатывании использован пакет программ DEFORM 3D, основанный на методе конечных элементов (МКЭ) и предназначенный для исследования процессов обработки материалов давлением и резанием. Разработана методика моделирования накатывания резьб с помощью МКЭ, позволяющая получать результаты, адекватные известным экспериментальным данным.

Из имеющихся в системе DEFORM критериев разрушения для моделирования резьбонакатывания выбран нормализованный критерий Кокрофта – Лейтема, позволяющий с достаточно высокой достоверностью предсказывать разрушение поликристаллических металлов в монотонных процессах пластической деформации.

При моделировании однократного накатывания метрической резьбы с профилем МJ роликом в системе DEFORM установлено, что разрушение заготовки происходит на гребне волны металла, образуемой при движении инструмента, что хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований. Получена зависимость значения

критерия разрушения Кокрофта – Лейтема от геометрических параметров накатываемой резьбы. Из данной зависимости можно сделать выводы, например о том, что максимально допустимое радиальное обжатие при накатывании резьбы M136x4 на заготовках из титановых сплавов равно 0,31 мм.

Результаты моделирования показали, что DEFORM позволяет с высокой достоверностью моделировать разрушение заготовок при накатывании резьб с небольшим количеством циклов деформирования, без использования дополнительных пользовательских подпрограмм. Для повышения достоверности моделирования усталостного разрушения необходимо дополнить систему подпрограммой, позволяющей реализовать критерий разрушения, учитывающий особенности немонотонных процессов деформации, например критерии разрушения, предложенные А.А. Богатовым и Г.Д. Делем.

Моделирование с помощью МКЭ позволяет выбирать рациональную схему деформирования и избегать опасности разрушения заготовки, например, совершенствованием конструкции заборной части резьбонакатного инструмента или уменьшением в случае необходимости потребного радиального обжатия применением комбинированной режуще-деформирующей обработки (накатывание крупных резьб по предварительно прорезанной винтовой канавке).

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН КОМБИНИРОВАННЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

А.В.Киричек, Д.Е.Тарасов

(ТИ Опел ГТУ) tde82@yandex.ru; avk@ostu.ru

Работоспособное состояние любого механизма зависит от качества поверхностного слоя деталей, из которых оно изготовлено. Именно в нем зарождаются усталостные трещины, приводящие к поломкам.

В машиностроительном производстве применяется широкий ряд упрочняющих методов, которые в сочетании с правильно выбранной последовательностью технологических операций создают благоприятную технологическую наследственность, качественно влияющую на эксплуатационные свойства выпускаемых изделий.

К наиболее распространенным методам относится: нанесение покрытий, термическая обработка, химико-термическая обработка (ХТО), поверхностное пластическое деформирование (ППД).

Существующие способы позволяют получать упрочненный поверхностный слой большой глубины, но с низкой степенью упрочнения,

либо высокую степень упрочнения на незначительную глубину. Расширение диапазона варьирования глубиной и степенью упрочнения даст возможность повысить ресурс эксплуатации деталей. Возникает необходимость применения комбинированных методов упрочнения поверхностного слоя материалов, что оправдано понятием технологической наследственности.

Данные научных исследований (Д.Д. Папшев, А.М. Пронин, А.Б. Кубышкин) свидетельствуют об очевидном преимуществе применения в технологической цепочке ППД перед цементацией в сравнении с технологическими процессами без предварительной обработки ППД.

Разработан новый способ обработки ППД - статико-импульсная обработка (СИО), отличающийся более широкими возможностями варьирования глубины и степени упрочнения.

При СИО основным деформирующим воздействием является динамическое (импульсное). Возможности технологических и конструктивно-технологических параметров СИО таковы, что позволяют более эффективно и точно управлять энергией удара за счет изменения формы ударных импульсов. В результате СИО нагружение упрочняемого материала происходит ударными импульсами такой формы, при которой энергия, расходуемая на пластическую деформацию, максимальна.

В зависимости от глубины упрочнения при СИО могут быть получены:

- наклепанный поверхностный слой с глубиной упрочнения до 8...10 мм; при этом для обеспечения заданной точности и снижения шероховатости может быть использована последующая чистовая механическая обработка;

- наклепанный поверхностный слой с твердостью до 650 HV, глубиной до 2...3 мм и низкой шероховатостью поверхности, достигающей $Ra = 0,08...0,1$ мкм.

Результаты предварительных исследований дают возможность утверждать, что использование операций СИО ППД перед цементацией в технологической цепочке комбинированного упрочнения позволит получать поверхностный слой с необходимой глубиной и степенью упрочнения, повысить его эксплуатационные свойства. Рассматривается возможность получения упрочненного поверхностного слоя большой глубины, так необходимого для деталей, работающих в сложных условиях эксплуатации, когда рабочая поверхность одновременно подвергается различным видам изнашивания.

**РАЗРАБОТКА РЕВЕРСИВНЫХ СИЛОВЫХ ПРИВОДОВ ИЗ МАТЕРИАЛОВ
С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ
В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ**

**А.Н. Кирилин¹, В.А. Барвинок², В.И. Богданович², О.В. Ломовской²,
Н.А. Богданов¹, А.Н. Плотников²**

(¹ФГУП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», ²СГАУ им.С.П.Королева)

barvinok@ssau.ru

Подавляющее количество металлических и неметаллических материалов, предназначенных для различных сфер деятельности, используется в качестве конструкционных для изготовления машин общего и специального назначения.

Существует группа материалов с особыми физико-техническими характеристиками, являющаяся группой функциональных материалов. Ярким представителем функциональных материалов является группа сплавов с термоупругими мартенситными превращениями и термомеханической памятью – материалы, обладающие эффектом памяти формы (ЭПФ).

Важным направлением прикладных исследований в области применения материалов с ЭПФ является создание на их основе силовых термомеханических приводов. Большие перспективы применения таких приводов имеются при создании устройств, применяемых в конструкции космических аппаратов. Наиболее рационально использовать материалы с ЭПФ в силовом приводе с ЭПФ в конструкции захватов, замков, толкателей, саморазворачивающихся антенн, солнечных батарей и т.п.

Накопленный в СГАУ опыт был применен для создания силового привода из сплава с ЭПФ предназначенного для использования в конструкции узла расчеховки гибких тяг для расфиксации подвижных элементов конструкции малых космических аппаратов с целью исключения ударных нагрузок в процессе расфиксации. Созданный силовой привод многоразового использования, что позволяет провести его наземную отработку на одном экземпляре, и тем самым обеспечить его надежное функционирование при выполнении поставленной задачи.

В разработанном силовом приводе узла расчеховки применен силовой элемент, изготовленный из проволоки ТН-1 нагреваемой в процессе работы путем пропускания через него электрического тока.

Для успешного внедрения силового привода с ЭПФ в созданном устройстве проведена модернизация существующей методики проектирования силового элемента из сплава с ЭПФ путем уточнения и дета-

лизации существующей математической модели функционирования силового элемента с ЭПФ. При разработке математической модели силовой элемент рассматривался как термоциклированная струна из сплава с ЭПФ. Струна является нормально растянутой, и расчековка обеспечивается рабочим ходом на сжатие при нагреве до температуры аустенит-мартенситного джоулевым теплом, выделяющемся при пропуски электрического тока непосредственно через струну.

Время срабатывания силового элемента определяется временем его прогрева до температуры окончания обратного мартенситного превращения с учетом расчетных эксплуатационных напряжений.

Проведенные теоретические и экспериментальные (по проверке адекватности разработанной модели) исследования позволили значительно усовершенствовать (упростить) существующую методику проектирования силовых элементов из сплава с ЭПФ для устройств, приводящих элементы конструкции космического аппарата в рабочее положение на орбите.

Результаты испытаний подтвердили стабильную многоцикловую работу созданного силового привода из сплава с ЭПФ.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ С ПОДКРЕПЛЕННЫМ ОТВЕРСТИЕМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОНСТРУКЦИЯМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.Н.Кирилин, В.А.Барвинок, Ю.А.Вашуков

(СГАУ им.С.П.Королева)

barvinok@ssau.ru

Проблема обеспечения стабильности затяжки болтовых соединений является весьма актуальной, особенно применительно к конструкциям летательных аппаратов, выполненных из композиционных материалов (КМ), ввиду их склонности к ползучести даже в условиях нормальных температур. Потеря сил затяжки для соединений может привести к преждевременному их разрушению и потере герметичности. Для соединений, работающих на срез, релаксация затяжки приводит к расшатыванию и разбалтыванию соединений, неравномерному смятию стенок отверстия и снижению прочности соединения.

Стабильную затяжку болтов можно получить при введении между болтом и стенкой отверстия втулки или вставки, не уступающей по прочности болту. В этом случае усилие затяжки воспринимается встав-

кой, а КМ остается разгруженным. Кроме того, установка промежуточной металлической втулки позволяет уменьшить концентрацию напряжений и добиться более равномерного их распределения. Однако высокая прочность таких соединений может быть обеспечена лишь при надежном закреплении втулки в материале.

Разработаны способы постановки подкрепляющей втулки (А.С.1608992, А.С. 1309405), в процессе осуществления которых ее внутренний диаметр остается неизменным, а по ее внешнему диаметру осуществляется преимущественная радиальная раздача совместно с соответствующими участками листовой заготовки с образованием на границе отверстия переменного поля радиальных сжимающих напряжений.

В работе исследуется задача, когда неограниченная упругая изотропная плоскость с круговым отверстием, в которое с преимущественным натягом запрессована втулка, растягивается усилием P . В задаче определялись составляющие напряжения и перемещения в подкрепляющем элементе, полагая, что внутренняя поверхность последней свободна от действия внешней нагрузки. При этом использовались основные соотношения Г.Н.Савина для плоской задачи теории упругости для изотропной среды, основные уравнения изгиба плоских кривых брусьев и формулы Колосова-Мухелишвили для плоской деформации и обобщенного плоского напряженного состояния упругих сред.

В результате исследований получены аналитические зависимости, определяющие напряженно-деформированное состояние упругой плоскости и подкрепляющего элемента. Проведенные исследования подтвердили возможность получения более равномерного распределения напряжений в пластине за счет введения переменного натяга. Полученные результаты позволяют моделировать и управлять напряженно-деформируемым состоянием в пластине и подкрепляющем элементе при эксплуатационных нагрузках.

**МЕТОДИКА ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА
ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ
ДЕТАЛЕЙ ГТД**

***Е.К.Савич, И.А.Докукина, В.И.Богданович
(СГАУ им.С.П.Королева) barvinok@ssau.ru***

При нанесении теплозащитных покрытий используются порошковые материалы различного гранулометрического состава. Размеры частиц напыляемого материала оказывают существенное влияние на ка-

чество получаемого покрытия, это связано с тем, что покрытие формируется в существенно неоднородных температурно-деформационных условиях, что приводит к неконтролируемой пористости и локальной потере его механических свойств.

Результаты показывают, что даже в материалах одного и того же поставщика возможно существенное изменение гистограмм рассеивания материалов по размерам, что приводит к неконтролируемому изменению свойств наносимых покрытий.

В настоящее время для исследования гранулометрического состава порошка, на предприятиях используется метод ситового анализа, основанный на рассеиве специально отобранной пробы порошка на комплекте сит с последующим взвешиванием каждой фракции и расчете ее содержания. Недостатком такого метода является отсутствие информации о распределении гранулометрического состава порошка внутри каждой фракции. Для получения более полной картины распределения частиц порошка по гранулометрическому составу необходимо увеличивать число сит в комплекте, что существенно повышает трудоемкость процесса анализа, кроме того, номенклатура сеток сит ограничена. Определение данным методом грануляции мелких порошковых материалов (менее 20 мкм) и плохосыпучих порошков так же не представляется возможным. Кроме того, данный метод не дает информации о форме частиц.

В связи с этим авторами для количественной оценки порошка в состоянии поставки была разработана методика их металлографического исследования, заключающаяся в следующем. Порошковый материал исследуется методом микроскопии с использованием программного обеспечения обработки изображения Image Expert Pro 3 Professional. При реализации данного метода проба порошка насыпается на стекло и в темном поле микроскопа при стократном увеличении на экране компьютера получают микрофотографии нескольких различных характерных участков, т.е. участков, полностью представляющих исследуемый порошок по грануляции. Опыт, полученный авторами в результате многочисленных исследований различных порошков, позволяет сделать вывод, что увеличение числа микрофотографий характерных участков выше 10 не приводит к существенному изменению результатов. Затем выбранные участки обрабатываются последовательно с помощью кнопок программы Image Expert Pro 3 Professional.

Программа проводит расчет общего числа исследуемых объектов (частиц), их средних диаметров, и, как результат, представляет группи-

рованный ряд и таблицу распределения фракций частиц порошка по среднему диаметру в зависимости от количества частиц в каждой фракции.

Однако, учитывая тот факт, что распределение частиц по среднему диаметру не всегда отражает реальную картину процесса массопереноса порошкового материала при плазменном напылении, определение фракционного состава по массовому содержанию для процесса плазменного нанесения покрытий представляет большой интерес. В связи с этим, был произведен пересчет и переход от количества частиц данной фракции к процентному содержанию фракций по массовой доле.

Полученные результаты пересчета по массовому содержанию показали, что исследование фракционного состава методом металлографии дают результаты, сходные с результатами, полученными методом ситового анализа. Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о возможности применения разработанной методики определения грануляции порошка и исследования его параметров с помощью микроскопии с использованием программного обеспечения обработки изображения Image Expert Pro 3 Professional.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СИСТЕМА МНОГООУРОВНЕВАННОГО РАЗГОНА
ТВЕРДЫХ ТЕЛ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО
СОУДАРЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ КОНСТРУКЦИЙ ВОЕННОЙ И
ГРАЖДАНСКОЙ ТЕХНИКИ**

***В.А.Барвинок, В.П.Самохвалов, А.Н.Кирилин, В.М.Вершигоров
(СГАУ им.С.П.Королева)***

barvinok@ssau.ru

Целью выполненных исследований является создание установок индукционного многоступенчатого разгона, обеспечивающих высокую скорость соударения при средних массовых характеристиках метаемого тела.

Минимальную скорость, необходимую для обеспечения условий высокоскоростного удара, иногда определяют как величину, при которой скорость движения поверхности между снарядом и преградой сразу после соударения превышает скорость продольной упругой волны в материале преграды. Для одинаковых материалов соударяемых тел скорость удара должна превышать удвоенную скорость звука. Область высокоскоростного удара остается еще сравнительно новой и исчерпывающее описание методики и эффекта высокоскоростного соударения

пока ещё не сформулировано окончательно. Условия удара в различных экспериментах не одинаковы, каждая методика связана с определенной используемой аппаратурой и оборудованием. Однако, в последнее время в связи с проблемой защиты летательных аппаратов от микро- и макрочастиц, движущихся с высокими скоростями, а также защиты элементов конструкций военной и гражданской техники от осколков взрывных устройств, интерес к этому явлению значительно вырос.

В проведенных экспериментах моделирование процессов высокоскоростного соударения твердых тел проводилось на установках средней мощности с использованием принципа многоступенчатого разгона. Были задействованы магнитно-импульсные установки энергоёмкостью 30, 20, 10 кДж. Для применения систем задержки запуска разрядников, в случае многоступенчатого разгона, разработаны измерители временных интервалов, имеющие общее начало процесса. Были проведены исследования необходимых временных интервалов включения блоков накопителей энергии отдельных модулей установки. К каждой установке через систему коммутации подключены индукторы общей системы ускорения. Датчики включения последующего блока накопителя энергии устанавливались на различном расстоянии друг от друга, что позволило варьировать временем запуска в зависимости от уровня энергии разряда каждого модуля. Время смещения запуска установок регистрировалось осциллографами. Перемещения метаемого твердого тела осуществлялось с помощью фотоэлектронного измерителя. Разработанный блок задержки обеспечивает программируемое смещение до 60 мкс с шагом $1-2 \cdot 10^{-9}$ сек. Задаются различные режимы фиксированных задержек. В режиме малых задержек генератор работает как цифровая линия. В режиме средних задержек работает аналогично цифровому таймеру. Стабильность срабатывания генератора задержки импульсов определялась за счет амплитудного и текущего значения индукции магнитных полей, действующих на ускоряемое тело. Датчик выполнен на основе магнитооптического эффекта Фарадея. К преимуществам таких датчиков относится малая инерционность ($1 \cdot 10^{-6}$ сек.). Последовательный запуск накопителей энергии с интервалом в наносекундном диапазоне позволил получить скорость 2,5-3 км/с для массы ускоряемого тела до 10 г. Получены экспериментальные зависимости влияния массы метаемого тела на ускорение и скорость соударения с твердой преградой.

**СРАБАТЫВАЕМЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ЭЛЕМЕНТАХ
СТАТОРА ГТД**

В.И. Фролов, И.А. Докукина, В.И. Богданович
(СГАУ им.С.П.Королева) barvinok@ssau.ru

Одна из важнейших задач машиностроительной промышленности, является повышение качества, надежности, экономичности и ресурса изделий авиационной и ракетной техники. Решение этой задачи немыслимо без усовершенствования существующих, разработки и внедрения новых материалов, удовлетворяющих повышенным требованиям, предъявляемым условиями эксплуатации летательных аппаратов и двигателей. Увеличение ресурса и экономичности газотурбинных двигателей (ГТД), применяемых в авиации и ракетостроении, неразрывно связано с разработкой и внедрением материалов, работающих при повышенных температурах и давлениях. Особенно это относится к деталям камеры сгорания и соплового аппарата первой ступени турбины, которые как показывает практика эксплуатации двигателей, чаще других выходят из строя.

Из анализа литературных данных следует, что уменьшение относительного радиального зазора между лопатками ротора и статора только на 1% в газовом тракте компрессора или турбины приводит к увеличению КПД двигателя от 1,5 до 3%. Однако, закрепление уплотнений, изготавливаемых из металлокерамического проката, спеченных вставок или сотовых элементов, является трудоемкой технологической операцией, не позволяющей в должной степени минимизировать радиальные зазоры. Наиболее эффективным технологическим приемом является нанесение специальных срабатываемых уплотнительных покрытий способных снизить до минимума радиальные зазоры между элементами статора и ротора газового тракта компрессора и турбины, а также предохранить элементы ротора от износа и возможных поломок.

К срабатываемым покрытиям предъявляются двойные требования: хорошая прочность сцепления с деталями статора и малая работа врезания, необходимая для сохранения работоспособности лопаток при срезании ими покрытия в процессе работы двигателя. Состав таких покрытий обычно включает металл и твердую смазку. Напыление таких разнородных материалов плазменным методом требует проведения комплекса исследований.

В работе представлены результаты исследований порошкового материала, а также комплекс испытаний, проведенный с напыленными образцами и опытными деталями ГТД. С помощью метода математиче-

ского планирования эксперимента, разработана методика расчета режимов плазменного напыления, спроектирована необходимая технологическая оснастка и разработана технология нанесения покрытий системы металл - твердая смазка на детали двигателей.

Приведены результаты промышленного применения разработанных технологий на элементах статора ГТД.

**ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИНЯТИЯ
ИНВЕСТИЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ
В ПРОИЗВОДСТВЕ РКТ**

В.И.Гломов

(МФЮА) barzov@sm.bmstu.ru

Высокая степень технико-экономической неопределенности при оценке потенциальной эффективности инвестиционно-технологических проектов в наукоемких отраслях промышленности, в первую очередь в ракетно-космическом машиностроении требует построения соответствующих вероятностных моделей. Данные модели, с вероятностных позиций призваны обеспечить научно-методическую базу для максимально объективного принятия того или иного инвестиционного решения, уменьшить соответствующие этому решению риски. Особенно актуальна проблема принятия верного инвестиционного решения в области инновационных технологий – основы эффективного развития РКТ.

Анализ показал, что в первом приближении вероятностная модель принятия решения должна учитывать взаимодействие трех основных факторов: востребованности инновационной продукции, за счет ее новых потребительских свойств, производственные затраты и суммарные инвестиции на этапе освоения данного вида продукции. Очевидно, что для количественной формализации необходимо применение аппарата квалиметрии, в частности метода экспертных оценок и теории принятия решений.

Феноменологический анализ вероятностного взаимодействия трех вышеприведенных основных факторов позволил предложить итоговую структурную схему, позволяющую оценить риск принятия соответствующего инвестиционно-технологического решения. Данная схема имеет параллельно-последовательную структуру и аналогична схеме расчета надежности технически сложных систем. Принимая в первом приближении вероятности устойчивого сбыта продукции и ее ритмичного производства равными между собой, а вероятность принятия положи-

тельного инвестиционного решения с некоторым коэффициентом, полученным на основе анализа экспертных оценок, была получена соответствующая вероятностная модель в виде полинома второй степени, допускающая количественные оценки финансовых рисков.

В качестве примера был рассчитан риск применения прогрессивной технологии гидроабразивного резания на предприятиях ракетно-космического комплекса, который составил не более 5%. Тем самым модель позволяет с вероятностных позиций оценивать инвестиционные риски принятия решений в сфере инновационных технологий, в том числе в ракетно-космическом машиностроении.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

М.П.Ананьев

(ГКНПЦ им.М.В.Хруничева) sm12@sm.bmstu.ru

Современное состояние разработки ракетно-космической техники (РКТ) заключается в увеличении массы полезных нагрузок при выводе их на рабочие орбиты. Это достигается за счет увеличения энергетики двигательной установки и снижении веса конструкции самого изделия, а также снижения веса приборов и систем установленных на изделии. Использование в конструкции приборов элементов микроэлектроники существенно позволяет снизить их габариты и массу, но в тоже время требует выполнения мер по защите приборов от статического электричества. Мировой опыт показывает, что не редки случаи отказа космической техники в том числе и из-за влияния статического электричества. В микроэлектронной и приборной промышленности имеется опыт защиты приборов на уровне их изготовления, но приборы становятся совершенно «не защищенными» в стадии их применения в сборочных цехах, на испытательных участках, на участках эксплуатации. И это во многом возможно из-за слабой подготовки инженеров-технологов в части защиты РКТ от воздействия статического электричества.

Часто защита от действия статического электричества сводится к оснащению рабочих мест специальным оборудованием (столов, элементов защиты). Между тем, критическим важным звеном в системе «изделие – статическое электричество» является человек (испытатель, инженер-технолог): его недобросовестное отношение к нормам по электростатике легко сведет на нет все усилия по оснащению рабочих мест специальными антистатическими аксессуарами.

Опыт работы позволяет выделить критические факторы действующие на успешную реализацию антистатической программы на предприятиях РКТ. К ним относятся:

1. Постановка задачи по защите изделия от статического электричества (техническое задание).
2. Эффективный план действий с разработкой графика работ с указанием исполнителей работ и поставщиков оборудования.
3. Обучение персонала мерам по защите от статического электричества.
4. Независимый контроль специалистов и рабочих мест, лицом или группой лиц являющимися специалистами в области защиты от статического электричества. Контроль должен быть компетентным и независимым, способный противостоять возможному прессингу со стороны заинтересованных лиц. Его задача – представить правдивый отчет о выявленной ситуации на предприятии.
5. Постоянное совершенствование в технологии мер и методов защиты от статического электричества.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В.Ю.Аливер, И.А.Сутырин, П.В.Круглов, В.А.Большаков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
cm12@sm.bmstu.ru

Известно, что одним из способов снижения потерь времени в производстве является его автоматизация. В данной работе описывается использование объектов «бизнес-процессы» и «задачи» программного комплекса 1С:Предприятие 8.1, интегрированных с конкретным оборудованием, в управлении производственным процессом ракетно-космического предприятия.

В документооборот предприятия внедряется информационная система, хранящая технологические процессы производства всех деталей и сборочных единиц. Технологический процесс детали или сборочной единицы описывается объектом «бизнес-процесс», в котором операции описываются объектами «задачи» (терминология «бизнес-процесс», «задачи» используется фирмой 1С). При увеличении серийности производства и необходимости учета параметров внутри операции возможна экономически обоснованная (из-за относительно высокой себестоимо-

сти такой работы) детализация «задач» до уровня отдельного перехода. В этом случае «задачи» будут группироваться в операции, а внутри операции распределяться по переходам. Каждый экземпляр «бизнес-процесса» будет представлять собой технологический паспорт на деталь (сборочную единицу) с уникальным кодом – номером детали (сборочной единицы).

Внедрение систем автоматизации управления технологическими процессами позволит напрямую связать технологический паспорт обрабатываемой детали с конкретным технологическим оборудованием, например, регистрируя характеристики операции термообработки детали (время, температуру). Другими примерами использования такой системы являются операции нанесения покрытий в автоматических установках, контроля в координатно-измерительных машинах, изготовления в обрабатывающих центрах. При наличии отклонений в ходе выполнения технологического процесса (сбой, брак, нарушения по норме времени, режимам и т.д.) информация об этом событии автоматически будет записываться в паспорт обрабатываемой детали или сборочной единицы и передаваться на пульт управления оператору, технологу, контролеру и т.д.

Использование штрих-кодов в производственном процессе помимо принятых в ракетно-космической промышленности способов маркирования и клеймения позволит уменьшить потери времени и затрат на регистрацию изделия в базе данных. Индивидуальный штрих-код будет присваиваться каждой детали, сборочной единице и позволит оперативно ее идентифицировать в системе и найти соответствующий технологический паспорт в базе данных. Оснащение рабочих мест, мест хранения, складирования и упаковки сканерами штрих-кодов позволит существенно сократить время на регистрацию, учет и комплектование изделий. Внедрение такой кодировки в составе системы, построенной на использовании «бизнес-процессов» и «задач» соответствует современным стандартам промышленного производства в области учета.

Таким образом, использование интегрированных информационных средств на базе объектов 1С:Предприятие в производстве ракетно-космической техники позволяет снизить временные и финансовые потери предприятия.

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОПИТКИ ЖИДКИМ СВЯЗУЮЩИМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ
МНОГОСЛОЙНЫХ ВЯЗАЛЬНО-ПРОШИВНЫХ СТЕКЛОПОЛОТЕН
ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

В.А.Романенков, Е.В.Морокова (ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия»)

Vladimir.Romanenkov@rsce.ru

Пропитка многослойных стеклополотен путем погружения в связующее занимает, в зависимости от количества сложенных полотна и процентного связующего, от 15 до 35 сут.

Длительность процесса проникновения вязкой жидкости в межволоконное пространство, протекающего при нормальных условиях, обусловлена капиллярным явлением, эффектом смачивания и толщиной полотна.

Одним из наиболее эффективных путей повышения скорости пропитки является создание градиента давления в направлении между пропитываемой жидкостью и материалом.

Такие условия реализуются с помощью специальной установки, где пропитываемый материал, уложенный в форму, пропитывается жидким связующим, поступающим под давлением из специальной емкости.

Процесс пропитки многослойных стеклянных полотен сводится к операциям:

1. Раскрой, сборка пакетов, сшивка заготовок полотен.
2. Укладка в форму сухого наполнителя, сборка формы и установки для пропитки.
3. Вакуумирование формы с изделием ($P \leq 0,4 \text{ кгс/см}^2$).
4. Подача связующего в форму с пропитываемым изделием.

Связующее для пропитки подается в форму через коллектор под давлением 0,3 – 0,5 МПа создаваемым сжатым воздухом, оказываемым на поверхность связующего в емкости.

После появления связующего на выходе формы вакуум отключается. Перекрываются каналы подачи связующего в форму.

Вытеснение излишнего связующего обратно в бак осуществляется давлением сжатого воздуха, подаваемым на поверхность заготовки через разделительную мембрану, установленную в форме отделяющей воздушную часть формы от жидкостной. При этом осуществляется ток связующего в противоположном первоначальному направлению, улучшая качество пропитки.

Пропитка изделия производится до требуемого процента насыщения полотен связующим, после чего сборка проходит формование вакуумно-автоклавным способом.

Данная технология позволяет не только значительно сократить цикл выпуска изделий, снизить трудоемкость изготовления и повысить качество пропитки, но и получить экономический эффект от более рационального использования исходных материалов. Удалось добиться преимущества в области обеспечения экологического эффекта, заключающегося в сокращении выбросов вредных веществ в окружающую среду и в сокращении объема утилизации отходов технологического процесса.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ
ПОГРЕШНОСТЕЙ КОНСТРУКЦИИ РАКЕТНОГО БЛОКА НА
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

В.Д. Баскаков, О.В. Зарубина, И.А. Стариков, О.А. Тараскин
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
Baskakov@sm.bmstu.ru

Существующая расчетная методика для вероятностной оценки влияния погрешностей конструкций ракетного блока с изменяемой геометрией поверхностей (РБ) на кучность попадания в цель и пробивное действие высокоскоростных удлиненных элементов (УЭ) разработана на основе применения упрощенных моделей, описывающих основные стадии функционирования изделия.

Для одной из основных стадий функционирования РБ – стадии движения УЭ под действием кинематических возмущений технологической природы, предложены упрощенные математические зависимости аэродинамических коэффициентов сил и момента сил от угла атаки. При построении этих зависимостей применялся принцип суперпозиции, согласно которому набегающий поток раскладывался на осевую и поперечную составляющие. Аэродинамические коэффициенты от каждой составляющей вычислялись независимо по теории Ньютона, а затем суммировались.

На основе изложенного принципа суперпозиции разработаны универсальные зависимости для оценки аэродинамических коэффициентов осесимметричных комбинированных УЭ сложной формы с постоянным или увеличивающимся поперечным сечением в направлении от носка к корме. С целью компенсации несовершенств разработанных зависимостей, связанных с погрешностями расчета формы аэродинами-

ческой тени на поверхности УЭ при наличии угла атаки, в модель введены поправочные коэффициенты, значения которых определены на основе сравнения результатов расчетов с известными данными для аэродинамических коэффициентов осесимметричных тел простой формы.

Адекватность разработанного математического обеспечения подтверждена сравнением оценок аэродинамических коэффициентов модельных УЭ цилиндрикоконической формы с данными численных расчетов, выполненных методом конечных элементов.

Применение созданного математического обеспечения в методике определения степени влияния погрешностей РБ на его эксплуатационные характеристики позволило повысить не только точность расчетов, но и качество последующих предложений по совершенствованию конструкции и технологии изготовления изделия в целом. Разработанное математическое обеспечение имеет также самостоятельное значение и может использоваться для экспресс-оценок аэродинамических коэффициентов конструкций с изменяемой геометрией поверхностей.

ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОСТИ ДОПУСКОВ НА ПОГРЕШНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В.Д. Баскаков, В.А. Тарасов, А.С. Софьин
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Tarasov@sm.bmstu.ru

Для оценки рациональности допусков на погрешности конструкций с изменяемой геометрией поверхностей (КИГП), образующих высокоскоростные удлиненные элементы (УЭ), разработаны универсальные комплексные коэффициенты рациональности точностного облика изделия. Для их вычисления предложена расчетная методика, устанавливающая количественную связь вероятностных значений эксплуатационных показателей КИГП (точность попадания в цель и пробивное действие УЭ) с погрешностями их конструктивных параметров. Данная методика построена по принципу имитации полигонных испытаний КИГП и включает следующие разделы:

1. Вычисление аэродинамических коэффициентов и моментов инерции УЭ по его конфигурации, получаемой импульсным рентгенографированием, синхробаллистической съемкой или численными расчетами;
2. Имитация погрешностей КИГП с помощью датчиков псевдослучайных чисел;

3. Определение начальных значений радиальной и угловой скорости УЭ в условиях возмущающего действия погрешностей КИГП;
4. Расчет траектории движения УЭ при наличии начальных кинематических возмущений, определение его отклонения от точки прицеливания и глубины каверны;
5. Формирование числовых массивов значений отклонения от точки прицеливания и глубины каверны на основе многократного повторения разделов 2 – 4;
6. Статистическая обработка числовых массивов с целью определения вероятностных значений точности попадания в цель и пробивного действия УЭ.

С помощью разработанной методики проведена оценка степени влияния различных погрешностей лабораторной КИГП на точность попадания и пробивное действие УЭ. Установлено, что вклады различных погрешностей в снижение каждого эксплуатационного показателя КИГП практически идентичны. Показано, что наибольшее снижение эксплуатационных показателей вызывает разностенность облицовки.

С помощью разработанной методики вычислены комплексные коэффициенты рациональности точностного облика лабораторной КИГП. Показано, каким образом следует перераспределить допуски на погрешности ее конструктивных параметров, чтобы улучшить этот облик и сократить денежные затраты на повышение эксплуатационных показателей.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ВОЛЬФРАМОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Л.И. Делимбетова

(МГТУ им. Н.Э. Баумана) sm12@sm.bmstu.ru

Практика обработки и эксплуатации вольфрамовых деталей показала их повышенную склонность к растрескиванию. Охрупчивание материала обусловлено концентраторами напряжения в виде неоднородностей микроструктуры, примесей внедрений, поверхностных включений и дефектов, полученных при механической обработке (сколы, трещины).

Улучшение эксплуатационных свойств вольфрамовых деталей возможно при электрохимическом растворении припуска в пределах дефектного слоя. Ликвидация локальных концентраторов напряжения происходит за счет их более активного растворения.

Наилучшие результаты повышения качества поверхностного слоя обеспечивается при электрохимическом полировании в условиях по-

вышенного давления раствора электролита (1,5...2,5 МПа). Процесс осуществляется в закрытой камере в непроточном растворе, замена которого выполняется в импульсном режиме. В этих условиях процесс протекает устойчиво при различных межэлектродных зазорах, что позволяет осуществлять полирование непрофилированными катодами инструментами сложноконтурных деталей с глубокими пазами, отверстиями, внутренней резьбой.

Электрохимическое полирование вольфрамовых деталей рекомендовано как окончательная технологическая операция, обеспечивающая снижение шероховатости поверхности и улучшение её микрорельефа, частичное или полное устранение дефектного слоя.

**СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРНОЙ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ
ИЗ ТУГОПЛАВКИХ СПЛАВОВ**

Л.И.Делимбетова, В.И.Юдин

(МГТУ им. Н.Э. Баумана) sm12@sm.bmstu.ru

Точностные характеристики при размерной электрохимической обработке (РЭХО) определяются особенностями анодного процесса, а именно, степенью локализации электрохимического растворения, которое характеризуется интенсивностью процесса в узких пределах межэлектродного зазора.

Для размерной электрохимической обработки деталей из тугоплавких сплавов на основе вольфрама, молибдена, рения используются щелочные растворы электролитов, которые являются активными электролитами с большой рассеивающей способностью. За счет активного электрохимического растворения в широком диапазоне межэлектродных зазоров создаются условия низких точностных возможностей обработки.

Способы обеспечения точности РЭХО основываются на условии ограничения зоны растворения. При прошивочных операциях осуществляется корректировка катода-инструмента и изоляция нерабочих поверхностей анода и катода.

Для операций сложноконтурного вырезания и обработки наружных поверхностей тел вращения по схеме точения используется непрофилированный катод-инструмент с ограниченной направленной подачей раствора электролита в межэлектродный зазор. Точность размер-

ной ЭХО в этих условиях определяется величиной предельной толщины струи раствора и соответственно величиной межэлектродного зазора.

Ограничение зоны растворения при размерной ЭХО наружных профильных поверхностей вращающимся катодом-инструментом по схеме фрезерования осуществляется путем дозирования подачи раствора в межэлектродный зазор в виде мелкодисперсной струи аэрозоли. Диспергирование раствора осуществляется вне зоны растворения сжатым воздухом в специальных пневмофорсунках, и подается потоком в зону растворения, обеспечивая равномерное распределение электролита по поверхности инструмента.

МОДЕЛЬ СТРУЙНО-ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫВКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ В ОПЕРАЦИОННОМ МОДУЛЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.А.Тарасов, А.Н.Алексеев, А.Н.Королёв, О.А.Тараскин

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

cm12@sm.bmstu.ru

Реализация эффективной струйно-динамической промывки поверхностей деталей является необходимым условием решения целого комплекса проблем гальванотехники:

- повышения производительности процессов и качества промывки изделий, в том числе сложнопрофильных деталей и печатных плат;
- минимизации объёма сточных вод на реализуемых операциях технологических процессов гальванохимической обработки;
- эффективной и малоэнергоёмкой рекуперации используемых электролитов и растворов, а в конечном итоге, их утилизацию.

В связи с выше изложенным, целью настоящей работы является исследование механизма гидроструйной очистки поверхности и характера снижения концентрации загрязнений (электролитов и растворов) на поверхностях деталей в условиях операционного модуля гальванохимической обработки.

На базе применения метода верхней оценки проведён анализ гидродинамических процессов, происходящих при взаимодействии струйного потока отмывающей жидкости со слоем загрязнения на поверхности деталей.

Получено выражение, увязывающее величину подачи с параметрами струйной очистки. Показано, что к процессу глубокой очистки следует подходить с позиций теории технологической наследственности. Допустимый уровень отношения остаточной концентрации загрязнений

к исходной можно представить в виде функциональной зависимости от числа струйных потоков, поочерёдно осуществляющих воздействие на загрязнённую поверхность.

На базе предложенной модели сформулированы принципы конструктивного оформления струеформирующей панели гальванотехники.

**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ДОКУМЕНТООБОРОТА В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

***И.А.Сутырин, И.А.Болотина, В.Ю.Аливер, В.А.Большаков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)***

sm@mipk.ru

Производственный процесс современного российского предприятия ракетно-космического машиностроения вследствие наличия жесткой конкурентной среды характеризуется быстрой сменой производства, сокращением сроков конструкторской и технологической подготовки производства, уменьшением длительности производственного цикла выпуска изделия. Одним из способов, обеспечивающих сокращение потерь времени, является автоматизация технологического и производственного документооборота в рамках предприятия. На мировом рынке программных средств для автоматизации промышленного документооборота присутствуют десятки продуктов разной степени сложности и стоимости, наиболее известными разработчиками являются фирмы SAP, Microsoft. Курс на технологическую независимость страны диктует российским предприятиям ограничение выбора программных продуктов в стратегических отраслях в пользу отечественных производителей. К числу лидеров российского рынка относится фирма 1С с программной платформой 1С:Предприятие 8.1. В данной работе рассматривается применение одной из групп объектов 1С:Предприятие 8.1 – «бизнес-процессов» и «задач» для решения вопросов автоматизации технологической подготовки производства, документооборота и управления в режиме реального времени ракетно-космическим предприятием.

Примером «бизнес-процесса» среди технологической документации может быть технологический процесс изготовления детали, сборки и испытаний сборочной единицы (СЕ). «Бизнес-процесс» состоит из «задач» – операций технологического процесса, в которых могут регистрироваться или определяться исполнители, рабочие места, участки,

цеха. Каждая копия такого «бизнес-процесса» будет представлять собой уникальный технологический паспорт на деталь или изделие, в котором отслеживаются все операции, выполняемые по ходу технологического процесса. Если операция над деталью выполнена – она регистрируется в базе данных с маркером «сделано», учитывается время начала операции, время окончания операции, длительность операции. После выполнения операции конкретный исполнитель – рабочий, мастер, бригадир или контролер отмечает ее выполнение и завершает ее, таким образом, автоматически происходит переход к следующей «задаче» – следующей операции технологического процесса. Предварительное тестирование модели системы было успешно проведено в виде программы для составления расписаний лабораторного практикума студентов вуза.

Таким образом, применение автоматизированных средств технологического документооборота на базе объектов 1С:Предприятие в управлении производством ракетно-космической техники позволяет снизить временные и финансовые потери предприятия.

**ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕННОГО ФАКТОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
НАСЛЕДСТВЕННОСТИ НА ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА
ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

В.Ал. Моисеев, Г.И. Моисеева
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
cm12@sm.bmstu.ru

Надежная работа деталей машин во многом зависит от параметров качества поверхностного слоя, которые определяют их основные эксплуатационные свойства (износостойкость, коррозионная стойкость, сопротивление усталости, контактная жесткость). В связи с интенсификацией эксплуатационных процессов требования к качеству поверхностного слоя непрерывно возрастают, особенно для производств, применяющих труднообрабатываемые материалы с высокими физико-механическими свойствами.

В работах некоторых исследователей косвенно отмечается, что с течением времени детали машин претерпевают геометрические и физико-механические изменения, что, в свою очередь, может повлиять на их точностные параметры, состояние поверхностного слоя, эксплуатационные характеристики. Однако влияние промежутка времени между

смежными воздействиями на процесс структуро- и формообразования рабочих поверхностей до настоящего времени не учитывалось.

Проведенные в МГТУ им. Н.Э. Баумана исследования позволили ввести понятие временного (структурно – кинетического) фактора технологической наследственности. Под временным фактором технологической наследственности понимается изменение физико-технологических свойств поверхностного слоя заготовки от интервала времени между предыдущим и последующим (смежными) воздействиями на обрабатываемую поверхность.

В результате проведенных работ была разработана классификация данного фактора согласно которой он подразделяется на маршрутный (время между смежными операциями) и операционный (время между воздействиями в пределах операции). Последний, в свою очередь, делится на внешне – и внутри – операционный.

Предложенная вероятностная математическая модель процесса формирования микрорельефа обработанной поверхности под действием импульсов акустической эмиссии позволила установить зависимость параметров шероховатости обработанной поверхности от интервала времени между воздействиями.

Показано, что поверхности, обработанные с учетом временного фактора, имеют минимальную высоту микронеровностей. Установлена зависимость параметров шероховатости обработанной поверхности от интервала времени между импульсами акустической эмиссии.

Таким образом, практическим результатом данных исследований можно считать пакет методик экспресс – определения рациональных режимов резания, а также приборов и инструмента для их реализации, внедренных на ряде предприятий отрасли.

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОТОРНО-СТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

С.Г. Муляр

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

m_serger@inbox.ru

Роторно-струйная обработка (РСО) – технология, позволяющая при помощи струи жидкости, предварительно разогнанной до высоких скоростей осуществлять технологические операции над деталями РКТ. Струя жидкости может применяться в качестве режущего инструмента

при механической обработке таких материалов, которые при обработке “твёрдым” режущим инструментом оказываются недостаточно технологичными, обработка которых сопряжена с какими-либо трудностями технологического процесса. Также РСО может применяться для очистки поверхностей от загрязнений, а также для снятия разного рода покрытий.

Создание самой струи происходит с помощью устройства, в котором жидкость находится в барабане, который при вращении создаёт центробежную силу, действующую на жидкость. В боковой поверхности барабана имеются сопла, через которые жидкость в виде высокоскоростной струи выбрасывается наружу.

В статье был произведён расчёт наиболее рационального радиуса, при котором значение функции, задаваемой через отношение объёма воды, прошедшего через установку к моменту сопротивления, возникающему под действием основных внешних факторов (аэродинамическое сопротивление, трение в узлах подшипников) будет максимальным, т.е. достигается максимальная производительность при минимальных потерях. Указанная выше функция имеет в качестве аргумента радиус барабана.

Производя аналитический расчёт производительности установки и моментов сил трения, получается функция, имеющая явный экстремум (максимум) при некотором значении радиуса. Данное значение будет варьироваться в зависимости от конструктивных особенностей установки (в основном всё сводится к значению радиуса барабана), от материалов, из которых установка изготовлена, а также от внешних условий, в которых идёт обработка (температура, влажность воздуха, тип подшипников).

Таким образом, вводя функцию КПД, достигается минимальный вес установки, что очень критично (при больших скоростях вращения – большие силы инерции), и при этом достигается максимальная производительность.

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ГИДРОАГРЕГАТОВ
ДЛЯ ПИТАНИЯ ГИДРОЦИЛИНДРОВ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ
ДИНАМИЧЕСКИХ СТЕНДАХ**

А.В. Сгибнев, В.З. Болотин

(ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля», МГТУ им.Н.Э.Баумана)

vzbolotin@rambler.ru

При изготовлении новых стендов для динамических испытаний изделий авиакосмической техники, часто встает вопрос об обоснованном выборе вспомогательных агрегатов. Каждый канал нагружения должен иметь отсечной электрический кран для подачи высокого давления на электрогидравлический усилитель и обратный клапан на выходе гидросистемы канала. Необходимо решить, какое дополнительное оборудование надо ставить для обеспечения надежной работы испытательного стенда.

Применение современных двух каскадных электрогидравлических усилителей таких производителей как Moog, Rexroth, «Восход» и др. в сочетании с герметично закрывающимися входными отсечными клапанами приводит к неконтролируемому броску нагрузок в момент включения клапанов. Исследование этого явления показало, что превышение происходит из-за переходных процессов в момент включения: сопло-заслонка первого каскада электрогидравлического усилителя еще не управляется, но поступающее в полости гидроцилиндра давление уже достаточно для того, чтобы на жестком образце произошел бросок по нагрузкам. Для исключения этого явления был разработан гидроблок, в котором, перед включением канала полости гидроцилиндра автоматически шунтируются перепускным клапаном. После подачи давления перепускной клапан плавно закрывается с такой скоростью, чтобы электрогидравлический усилитель успевал поддерживать нулевую нагрузку. Теоретически доказано и подтверждено экспериментом, что для исключения ударов достаточно иметь перепускной клапан плунжерного типа с условным проходом Ду 4.. 6 мм.

Анализ работы динамических стендов для испытаний на усталость и изучение типичных гидравлических линий подачи давления к гидроцилиндрам привел к выводу, что имеется возможность не ставить на входе — выходе электрогидравлического усилителя гидравлические аккумуляторы. Теоретически показано и подтверждено на практике, что для снижения пульсаций давления до приемлемой величины (менее 0,5 МПа при номинальном давлении 20 МПа) достаточно поставить на входе и выходе электрогидравлического усилителя рукава высокого давления длиной не менее 0,7 метра с условным проходом Ду увеличенным на 5 мм, чем тот, который рекомендуется исходя из скорости течения жидкости.

Проведенные работы позволили повысить надежность испытаний, а также удешевить их за счет отказа от дорогостоящих и требующих регулярного обслуживания гидравлических аккумуляторов.

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИСПЫТАНИЙ ДЛИННОМЕРНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА НА РЕЗОНАНСНЫХ СТЕНДАХ****А.В. Сгибнев, В.З. Болотин****(ОАО «МВЗ им. М.Л. Муля», МГТУ им.Н.Э.Баумана)****vzbolotin@rambler.ru**

Стенды для испытаний на усталостную прочность, основанные на возбуждении резонансных колебаний на испытуемом образце, по-прежнему широко используются для испытаний длинномерных конструкций. Образец нагружается большой осевой нагрузкой и, при помощи вибратора (дебалансного механизма), на образце возбуждаются поперечные колебания с частотой близкой к резонансной частоте.

При испытаниях на поперечную вибрацию длинномерных конструкций из композитных материалов на основе стеклопластика или углепластика возникает значительная пульсация по осевой силе из-за больших поперечных перемещений при колебаниях и, вызванных этим, циклическим изменением длины образца. Уменьшение пульсации за счет увеличения длины стенда, введения упругих элементов приводит к значительному увеличению габаритов стенда, появлению колебаний на паразитных частотах из-за дополнительно введенных колеблющихся масс.

Не удастся решить проблему пульсаций осевой силы применением в качестве упругого элемента гидроцилиндра с гидроаккумуляторами. Из-за трения в уплотнениях, амплитуда пульсаций осевой силы достигает 5...7 %. Кроме того, происходит интенсивный разогрев гидроцилиндра.

Задачу по снижению амплитуды пульсаций удастся решить установкой в систему нагружения осевой силы динамического гидроцилиндра с сервоуправлением. Гидроцилиндр нагружает образец осевой нагрузкой, и затем, по мере возникновения поперечных колебаний компенсирует циклические изменения длины образца. Для этого в сигнал задания на электрогидравлический усилитель гидроцилиндра подается гармонический сигнал удвоенной частоты колебаний с фазой, нейтрализующей пульсации осевой силы. Адаптивная система управления позволяет добиться снижения амплитуды пульсаций до величины 2...3 % от заданной осевой силы.

Проведенные расчетные, конструкторские и технологические работы позволяют повысить достоверность испытаний на поперечную вибрацию длинномерных конструкций из композитных материалов.

КРИОГЕННЫЙ ТРУБОПРОВОД, НАМОТАННЫЙ ИЗ ПОЛИИМИДНЫХ ПЛЕНОК

М.А. Комков, В.В. Сабельников
(МГТУ им. Н.Э. Баумана) Komkov@sm.bmstu.ru

Все возрастающие рабочие параметры двигательных установок РКТ, авиации и наземного транспорта, работающие на криогенных топливах: жидком кислороде, водороде или метане – CH_4 , требуют создания легких, прочных и герметичных трубопроводов для нормальных, криогенных и повышенных температур. Этим требованиям наиболее полно отвечают трубопроводы, изготовленные намоткой на основе жестких полиимидных пленок и однонаправленных КМ.

Рассмотрено конструктивно-технологическое решение криогенных трубопроводов, в которых с целью снижения массы силовые оболочки прямолинейных и изогнутых участков изготовлены намоткой узкой ($t_n = 20$ мм) лентой из полиимидной пленки ПМФ-352, поверх которой, при необходимости, наматывается в спиральном направлении однонаправленный КМ, например, органопластик или углепластик. Металлические или из термопласта законцовки трубопровода с расширяющимся коническим хвостовиком, буртом и канавкой для охвата и разворота наматываемого КМ, склеивались [1] с полиимидной оболочкой - лейнером.

Прямолинейные участки трубопровода из полиимидной пленки диаметром $d_v = 50$ мм, длиной 295 мм, с толщиной стенки = 1,15 мм наматывались на металлическую оправку, а изогнутые участки – на вымываемую песчано-солевую оправку. Цилиндрические образцы трубопроводов прошли испытание внутренним давлением жидкости. Разрушение образцов водой при нормальной температуре произошло при среднем давлении $P_{\text{раз}} = 4,9$ МПа, а разрушение жидким азотом ($T_{\text{ж}} \approx -186^\circ\text{C}$) - при давлении $P_{\text{раз}} = 7,4$ МПа. Оболочки разрушились вдоль образующей цилиндра.

Изготовленные образцы были испытаны на герметичность при нормальной температуре. Утечка газа (гелия) по методу натекания в барокамере оказалась не выше $1 \cdot 10^{-4}$ л·мкм/с ($1,33 \cdot 10^{-8}$ Вт). После проведения 30 циклов [2] захлаживания жидким азотом резко выраженных дефектов не обнаружено, а герметичность остается в допустимых пределах.

Литература

1. Сабельников В.В., Комков М.А., Саморядов А.В. Технология склеивания элементов криогенного трубопровода. – М.: Клеи, герметики, технологии. 2005. - № 1. - С. 16-20.
2. Буланов И.М., Комков М.А. Применение жестких полимерных пленок в криогенных топливных системах аэрокосмической техники //Вестник МГТУ. Машиностроение. - 1992. - №1. - С. 14-24.

**ТЕРМОАДАПТИВНЫЙ УГЛЕПЛАСТИКОВЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ
РАЗМЕРОСТАБИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Е.А. Толстопятова, М.А. Комков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана) Komkov@sm.bmstu.ru

Создание размеростабильных конструкций, работающих при нормальных, криогенных и повышенных температурах основано на уникальных свойствах арамидных и углеродных волокон, имеющих отрицательный КЛТР вдоль оси волокон. В связи повышением точности позиционирования космических ЛА на орбите появилась необходимость создания термоадаптивных элементов для обеспечения размерной стабильности конструкций на основе современных российских арамидных (Русар) и углеродных (Кулон) волокон.

Представлена методика определения и экспериментальные значения КЛТР однонаправленных углепластиков в диапазоне от криогенных до повышенных температур. Рассмотрено конструктивно-технологическое решение, выбор схем армирования и режимных параметров формообразования многослойных углепластиковых структур адаптивных элементов, влияющих на величину и стабильность КЛТР изделия в целом.

Для термоадаптивных элементов получены аналитические зависимости и расчетные формулы, определяющие углы армирования многослойного углепластика, обеспечивающие совместную работу слоев, прочность и размеростабильное состояние и комбинированной конструкции цилиндрической оболочки (трубы) в осевом направлении, при ее захлаживании до криогенных температур.

Цилиндрические образцы термоадаптивных элементов трубы диаметром $d_{тр} = 360$ мм из углепластика прошли испытание на термостабильность и показали высокую точность стабилизации линейных размеров по сравнению с адаптивным элементом из инвара (НЗ6) при значительном снижении массы конструкции.

Литература

1. Вышвенюк В.И. Тепловое расширение конструкционных волоконистых композитов /Обзор печати за 1968...1986 гг. – М.: ЦНТИ «Поиск», 1987. - Серия VIII, №52.
2. Прочность материалов и конструкций при криогенных температурах /Под редакцией Красовского А.Я. – Киев: Наукова думка, 1988. – 239с.

**УЛЬТРАСТРУЙНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ И ДИАГНОСТИКИ
КЕРАМИЧЕСКИХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

А.Л.Галиновский, С.К. Сальников, Р.Р.Сайфутдинов,

И.Н.Чорный, С.А. Новожилов

(МГТУ им. Н.Э. Баумана, НПО «Класс»)

galcomputer@mail.ru

Прогрессивным материалом для изготовления элементов бронезащиты является специальная конструкционная керамика (КК), в частности на основе оксида алюминия. Однако, обладая высокими бронезащитными свойствами, она характеризуется крайне низкой обрабатываемостью и сложностью контроля качества. Другими материалами, входящими в конструкцию средств индивидуальной бронезащиты являются композиционные эластомеры (КЭ). Существующая традиционная размерная сложно-контурная механическая обработка резанием (раскрой) листовых заготовок из КЭ также имеет ряд недостатков, в частности низкую технико-экономическую эффективность. Этот факт зачастую не позволяет осуществлять раскрой КЭ с применением современного программно-управляемого оборудования, что влечет за собой низкую повторяемость результатов.

Учитывая то обстоятельство, что данные виды материалов (КЭ и КК) широко используются в производстве современных средств бронезащиты необходимо провести анализ перспектив использования инновационной ультраструйной технологии (УСТ) как в решение задач размерной обработки и контроля качества бронезащитных элементов из защитной оксидной керамики, так и раскроя КЭ.

Анализ физико-технологических возможностей УСТ показал, что гидроабразивную ультраструю можно применять как практически безальтернативное средство размерной сложноконтурной обработки керамических бронезащитных элементов, получения бездефектных образцов для испытаний. При этом нужно учитывать специфику реализации ультраструйного гидроабразивного резания, которая состоит в том, что

прочностные и др. свойства обрабатываемого материала (керамики) соизмеримы, а в ряде случаев превышают аналогичные параметры абразивных зерен (порошка) вводимых в ультразвуку воды.

Кроме того, исходя из рассмотрения физических особенностей гидроэрозионного разрушения поверхности керамики в месте воздействия сверхскоростной ультразвуки (абразивной или жидкостной) можно оценить параметры ее качества: прочность, ударную вязкость и т.п. Это осуществляется путем анализа результатов эрозионного разрушения ультразвукой контролируемой керамики: геометрических размеров гидрокаверны и керамических частиц, отделившихся от поверхности исследуемого образца.

Необходимо подчеркнуть, что применение УСТ является универсальным средством, позволяющим проводить размерную обработку бронезащитных элементов, вырезку образцов для испытаний, осуществлять имитирующие воздействия на поверхность брони, а также проводить оценку качества путем диагностирования поверхности.

На сегодняшний день были оценены технологические возможности и ультразвукового раскроя современных КЭ, определены рациональные режимы обработки. Перспективы совершенствования технологии гидрорезания КЭ заключаются в экспертном анализе эффективности и реализации ряда технико-технологических мероприятий связанных с наложением на зону обработки растягивающих механических напряжений, заменой гранатового концентрата на силикатный песок и оценкой возможности группового раскроя пакета заготовок из КЭ. Проблемным вопросом является анализ результативности совмещения процесса ультразвукового резания КЭ с получением контрольно-диагностической информации о параметрах качества обрабатываемого материала, т.е. с использованием возможностей оперативно-технологического контроля ультразвуковой диагностики.

ПОЛУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОТЕХНОЛОГИЙ

А.В.Гриневич, А.Л.Галиновский, М.И. Абаши
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, ВИАМ)
galcomputer@mail.ru

Обеспечение надежности лопаток газотурбинных двигателей требует диагностирования состояния материала изделий, на всех этапах жизненного цикла изделий, что, в свою очередь, стимулирует разработку и использование новых методов контроля. В настоящее время на

этапе производства и отработки технологии изготовления лопаток данная задача решается путем проведения металлографических исследований кромок элементов лопаток газотурбинных двигателей. Получение данных элементов осуществляется путем механической разрезки (сегментирования) корпуса лопатки в поперечном направлении на несколько частей. Использование для этой операции традиционного режущего инструмента приводит к ряду неблагоприятных факторов. Во-первых, наличие высокой температуры в зоне резания вызывает эффект подплавления поверхностных слоев материала лопатки, не позволяя объективно и точно провести металлографические исследования ввиду «смазанности» картины структуры материала. Во-вторых, применение отрезного режущего инструмента не позволяет осуществлять сложно-контурный разрез лопаток, а ограничивается получением поперечно разрезанных образцов. Данным недостатками не обладает технология гидрорезания, которая, как показали экспериментальные исследования, позволяет эффективно решать обе перечисленные проблемы. Низкая температура в зоне резания ($\sim 70^\circ \text{C}$) и возможность получения геометрически сложного реза продиктовали необходимость использования данной гидротехнологии в решении вопроса получения образцов для металлографических исследований. Единственным недостатком применения гидрорезания для получения образцов является сложно-профильность лопатки, имеющей существенную кривизну поверхности. Применяемое гидрорежущее технологическое оборудование не позволяет изменять вертикальную координату Z при автоматизированной работе, а ограничивается двух координатной, плоскостной системой X и Y. Эта специфика гидрорежущего станка привела к необходимости разработки специализированной технологической оснастки, позволяющей осуществлять поворот обрабатываемой детали в плоскости кривизны ее поверхности с целью выдерживания постоянного расстояния между поверхностью лопатки и срезом соплового насадка гидрооборудования. Как показали экспериментальные исследования ручное вращение детали приводит к появлению существенной кривизны реза, неровности кромки и другим неблагоприятным факторам, связанным с вибрацией детали и отсутствием ее жесткого закрепления. Аналогичная проблематика возникла и при подготовке образцов для испытаний бронезащитных элементов применяемых в изготовлении средств индивидуальной защиты. Проведение прочностных испытаний требует размерной вырезки образцов, что связано со сложностями применения режущего инструмента ввиду труднообрабатываемости материала и лазерной резки ввиду

плохого качества кромки изделия. Использование гидроабразивного резания позволило успешно решить данную задачу. Кроме того, бронезащитные элементы также имеют кривизну поверхности и нуждаются в использовании аналогичной технологической оснастки. Таким образом, технология гидрорезания лопаток газотурбинных двигателей и гидроабразивного резания бронезащитных элементов являются высокоперспективными средствами получения образцов для исследований и испытаний и открывают новые перспективные направления их развития в этой области. Перспективной областью нетрадиционного применения гидротехнологий является их использование в качестве средства имитационного воздействия пули на бронезащитный элемент и его последующего диагностирования на предмет качества изготовления, определения основных прочностных характеристик материала.

**ЭРОЗИОННОЕ ИЗНАШИВАНИЕ МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ
ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ**

В.А.Тарасов, А.Л.Галиновский, В.М.Елфимов
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

galcomputer@mail.ru

Интенсивно развивающаяся технология гидрорезания сверхзвуковой абразивно-жидкостной струей, предопределяет расширение областей ее применения в технике и технологии. Но вместе с тем остаются неизученными вопросы теоретического обоснования процесса эрозионного изнашивания материала в процессе гидроабразивной обработки.

Предварительное изучение данного вопроса показало, что математическое описание эрозионного износа материала с накоплением поврежденности сталкивается со значительными трудностями в силу многочисленности разнообразных явлений, создающих основу данного процесса. Исследования показали, что в основе отделения зерен обрабатываемого материала лежит усталостное разрушение при циклическом воздействии ударяющих абразивных частиц. При этом процесс эрозионного изнашивания имеет две стадии: стадию формирования поперечной к обрабатываемой поверхности системы трещин и стадию отделения частиц от обрабатываемого материала.

На примере изучения технологии струйно-абразивной обработки было показано, что остаточные напряжения в поверхностном слое материала изменяются аналогично микротвердости поверхности, а сило-

вой фактор оказывает большее влияние на процесс абразивной обработки, чем геометрический и тепловой.

В результате выполнения процедуры моделирования процесса эрозионного изнашивания, построения схемы расчета накопления поврежденности в объекте обработки, определения энергии, вводимой частицей в материал, были получены зависимости показывающие, что при интенсивной абразивной обработке размер откалываемых частиц обрабатываемого материала определяется размерами струи и зерен абразива, механическими характеристиками объекта обработки, углом падения гидроабразивного потока, и не зависит от скорости гидроабразивной струи. В тоже время было показано, что интенсивность эрозии и производительность пропорциональна квадрату скорости гидроабразивной струи, которая, зависит от концентрации частиц в струе. Используя данные результаты, представляется практически целесообразным и перспективным осуществить оценку технико-экономической эффективности процесса гидроабразивного резания.

Другой важный вывод состоит в том, что природа эрозии сопла и обрабатываемого материала одинакова. Поэтому интенсивность эрозии и производительность эрозионного съёма обрабатываемого материала пропорциональны друг другу.

Согласно последнему выводу была разработана феноменологическая модель ударно-абразивного воздействия на стенку сопла через слой жидкостной струи. В данной модели центральным является установление взаимосвязи между скоростью соударения частицы абразива со стенкой сопла, координатами введения этой частицы в струю и соударения её со стенкой сопла при известных технологических параметрах (диаметры сопла и частицы, скорость введения частицы в поток и т.д.).

В результате математического моделирования интенсивность эрозии была представлена как функция координаты взаимодействия абразива со стенкой сопла, содержащая все параметры процесса.

В заключение отметим, что перспективой продолжения исследований и уточнения полученных уравнений, является анализ вопросов саморегулирования геометрических условий резки обрабатываемых объектов, например, пластин, а также разработка инженерных методик оптимизации параметров гидроабразивного резания по технико-экономическим показателям.

**КАВИТАЦИОННАЯ ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

**А.А. Барзов, А.Л. Галиновский, Р.В. Жигарев, О.В. Тарасюк
(МГТУ им. Н.Э. Баумана) galcomputer@mail.ru**

Сравнительный анализ технологических возможностей гидроструйных технологий с другими методами очистки показал, что данные технологии вполне конкурентоспособны и перспективны. Современные гидроструйные технологии обеспечивают скорость очистки, сопоставимую с самыми производительными механическими методами, но при меньших затратах энергии. Особенно выгодно их применение в производстве деталей ответственного назначения типа командных деталей авиационных и ракетных двигателей, где необходимо обеспечение минимального уровня остаточных напряжений в поверхностном слое заготовок.

Как показали исследования, еще более эффективным является метод, основанный на использовании кавитационной технологии, где подобранный режим ламинарного потока воды преобразуется в облако кавитационных пузырьков, обладающих большой энергией. При их разрушении происходит микро взрыв, разрушающий локальный объем материала находящийся в зоне гидравлического удара.

Кавитационная установка состоит из водяного насоса, шлангов высокого давления и исполнительного инструмента – водяного пистолета. От одной установки может работать несколько пистолетов, если позволяет расход воды и оперативные условия. Конфигурация «активного облака» задается сменными насадками. Это может быть важным при очистке обратной, недоступной стороны очищаемого объекта, узких протяженных щелей и т.п.

При проведении экспериментов варьируемыми параметрами очистки являлось давление жидкости, которое регулировалось с помощью насоса, в диапазоне от 0 до 260 атм., с шагом 50 атм. Сравнивался сигнал от прибора, измеряющего параметры акустической эмиссии (АЭ) и износ детали, определяемый до и после эксперимента путем ее взвешивания. В результате обработки экспериментальных данных, была получена зависимость износа исследуемой детали (шайбы) от давления, при условии, что обработка проводилась одинаковое время.

Сопоставление сигналов АЭ и износа детали, при различных давлениях, позволило установить из зависимость. С практической точки зрения предложенная методика позволит осуществлять экспресс выбор оптимального режима работы кавитационной установки в зависимости от обработки того ли иного вида материалов или загрязнений.

Кроме того, прямыми экспериментами, была убедительно доказана технологическая значимость гидроэрозионного разрушения твердотельных мишеней при ультразвуком воздействии, особенно при увеличении динамичности струи за счет кавитации, резонансной модуляции, например с помощью резонаторов Гельмгольца, фрагментарно-капельной подачи жидкости при использовании электрогидравлического эффекта и т.п. Причем, именно возникающие поверхностные акустические волны – волны Релея, взаимодействуя с волнами упругой деформации других типов, но в первую очередь между собой, способны реализовать физически значимую существенную пространственно-временную локализацию выделяющейся при ударе струи упругую энергию. Этой энергии должно быть вполне достаточно для изменения структурно-фазового состава материала в некоторой, относительно малой, области поверхностного слоя материала, а также для инициирования в ней дислокационных процессов зарождения и развития микродефектов, роста и слияния микротрещин и т.д. Это приводит, за весьма ограниченный период времени, к поверхностной макро-, микро- и нанофрагментации материала мишени, т.е. к ее совокупной, весьма интенсивной, ультразвуком гидроэрозии.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ РКТ

А.Л.Галиновский, А.И.Тутнов, В.М.Елфимов, О.М.Пашин
(МГТУ им. Н.Э. Баумана) galcomputer@mail.ru

Значительное количество и взаимосвязанность технологических параметров, характеризующих эффективность ультразвуковых технологий (УСТ), а также недостаточный теоретический аппарат их полномасштабного анализа, не позволяет априори выбирать рациональные режимы обработки материалов в разных производственных условиях. Поэтому технико-экономическая результативность УСТ в значительной мере определяется опытом применения данной технологии на конкретном предприятии и производстве. Таким образом, разработка соответствующего методического обеспечения технологии УСТ, позволяющего определять оптимальные режимы обработки, является весьма

актуальной задачей, решение которой напрямую связано с повышением конкурентоспособности УСТ по сравнению с другими высокотехнологичными способами резания, например лазерной и плазменной обработкой материалов.

Рассмотрев модель оптимизации УСТ по стоимостным параметрам процесса обработки, в первую очередь технологической себестоимости; определив удельные затраты на износ соплового насадка и удельный расход абразивного материала, было получено выражение для удельной технологической стоимости единицы массы обрабатываемого материала (руб/кг), удаленной (снятой, срезанной) с заготовки. Данное выражение представляет собой исходную оптимизационную модель конкретной технологической операции УСТ в математически формализованном виде.

На основе анализа полученных математических моделей, отражающих взаимосвязи между основными стоимостными и функционально-экономическими элементами, участвующими в формировании технико-экономических показателей процесса УСТ, была сформирована методика поэтапного определения оптимальной массовой концентрации абразива по стоимостным показателям.

Данная методика была реализована в виде компьютерной программы, позволяющей достаточно оперативно в лабораторных или производственных условиях осуществлять экономически целесообразное проектирование конкретной технологической операции УСТ путем определения оптимальной концентрации абразивного материала.

Интерфейс программы состоит из трех блоков:

- блок исходных параметров;
- блок ввода и редактирования группы технологических параметров (технологический блок), предназначенный для ввода и редактирования экспериментальных значений производительности резания и стойкости соплового насадка в зависимости от расхода абразива;
- блок результатов расчета.

На вкладке результатов расчета программы выводятся графики производительности УСТ и стойкости соплового насадка от концентрации и расхода абразива, а также результирующая кривая экономической эффективности. Также в результатах расчетов отображаются основные исходные параметры и расчетные данные двух режимов работы: режима максимальной производительности и экономически оптимального режима.

Таким образом, основное достоинство и прикладная полезность программного продукта состоят в возможности оперативно, в том числе в производственных условиях, осуществлять экспресс-оптимизацию технологического процесса ГАР исходя из заданных потребностей, задач и условий производства.

**ДИАГНОСТИКА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ
УЛЬТРАСТРУЙНЫМ МЕТОДОМ**

А.А.Барзов, О.Ю.Елагина, А.Л.Галиновский
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина)
galcomputer@mail.ru

Одной из актуальных проблем диагностики является проблема создания экспресс-технологии оценки и определения функционально-эксплуатационных параметров потенциально опасных объектов, которыми, в частности, являются многие элементы конструкций входящих в состав топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Обеспечение высокой надежности конструкций и агрегатов ТЭК - приоритетная задача, стоящая на всех этапах создания данных объектов, начиная с этапа проектирования, отработки технологий и заканчивая этапом возможного продления срока службы путем определения остаточного ресурса ответственных конструктивных элементов.

Анализ показывает, что ультразвуковая диагностика (УСД) состояния элементов конструкций ТЭК может быть новым и перспективным способом ускоренного малозатратного определения их эксплуатационных параметров, в первую очередь остаточного ресурса ответственных узлов и агрегатов путем воздействия на поверхность диагностируемого объекта сверхскоростной гидроструи (ультраструи).

В настоящее время процедура обследования ответственных элементов конструкции ТЭК, с целью определения их текущего состояния и прогнозирования тренда (изменения) эксплуатационно-функциональных параметров, главным образом их остаточного ресурса весьма трудоемка и экономически затратна.

В связи с этим, требуется разработка новых экспресс-методов контроля и диагностики параметров состояния элементов конструкции, функционирующих объектов ТЭК, например, их физико-механических характеристик.

Процесс диагностирования будет осуществляться путем кратковременного воздействия на исследуемый участок конструкции сверхскоростной гидроструи (ультраструи). По результатам этого воздействия

будут определяться физико-механические свойства поверхностного слоя материала конструкции.

Физическое обоснование эффективности ультраструйной диагностики состоит в следующем. В месте удара ультраструи о поверхность диагностируемого элемента конструкции происходит ее интенсивная гидроэрозия. Причем величина образовавшейся при этом каверны однозначно свидетельствует о физико-механическом состоянии материала поверхностного слоя, который, как правило, является наиболее нагруженным по отношению к внутренним слоям, при эксплуатации различных элементов конструкции. Дополнительными и весьма информативными параметрами ультраструйной диагностики служат: количество и размер частиц конструкционного материала, отделившихся от диагностируемой поверхности, их форма и т.д.

Для технической реализации способа ультраструйной диагностики и текущего контроля физико-механических характеристик конструкционных материалов элементов ТЭК предполагается использовать, после соответствующей технологической адаптации, мобильное оборудование, предназначенное для гидрорезания. Кроме того, данное обстоятельство открывает перспективу совмещения процедуры ультраструйного диагностического обследования потенциально-опасных участков конструкций с их последующим ремонтом, включающим в себя вырезку этих участков той же ультраструей, например, путем введения в ее состав абразивного порошка. Таким образом, УСД помимо самостоятельного значения по обеспечению их безопасности может стать важным практическим приложением и расширением функциональных возможностей известной производственной технологии гидрорезания, все шире применяемой на объектах ТЭК.

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКИ
ПРОИЗВОДСТВА TESH CARD ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

М.В.Ковалевич, К.В.Мешков

(МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского,

ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»)

chumadin@mati.ru

Одним из эффективных способов снижения сроков и затрат на технологическую подготовку производства является внедрение информационных систем. Автоматизированная система технологической подго-

товки производства состоит из следующих основных подсистем: система документооборота Search, база данных IMbase, системы проектирования технологических процессов TechCard, экспертной системы, позволяющей производить настройку расчетных схем, и других систем, отвечающих за планирование процесса производства.

На ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» внедряется система АСТПП «Техкард». Особенность системы является большое число настраиваемых параметров, что позволяет создавать различные схемы расчета и вывода результатов, отвечающие требованиям конкретного предприятия. Настройка расчета ведется на основе переменных – понятий. Основные понятия введены производителем программного продукта. Понятия условно могут быть разделены на системные и технологические. Первые обеспечивают работу и взаимодействие элементов системы, например модель оборудования, марка материала. Вторые участвуют в технологических расчетах, например, подача или ширина реза. Если потребителю не достаточно этих понятий, могут быть созданы и настроены дополнительные.

Разработана методика автоматизированного расчета операционных карт на раскрой материала. Основная сложность заключалась в большом разнообразии видов раскроя с различными методиками расчета и различными бланками.

Основой работы, как и в случае разработки технологического процесса, являются система PDM Search и база данных IMBase. Из Search берутся данные об изделии, из базы данных – данные о материале и оборудовании. Выбрав вид заготовки и выбрав полуфабрикат, а так же указав оборудование и размеры заготовки, технолог в течении кратчайшего времени получает операционные карты на раскрой материала с указанием размера заготовки, допусков, норм расхода материалов и количества отходов.

На основе разработанных карт раскроя может быть сформирована ведомость норм расхода материала на все изделие или отдельные узлы и агрегаты, что позволит легко спланировать закупки материала для производства изделия.

**ФОРМОВКА СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ
МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫМ ПОЛЕМ**

М.С. Джоздани, В.Ю. Астапов

(МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского) chumadin@mati.ru

Деформирование высокоэнергетическими импульсными методами осуществляется при специфических условиях, определяющихся кратковременностью воздействия деформирующего усилия, большими скоростями деформации. Положительной особенностью таких процессов является их универсальность, простота оснастки, небольшие трудоемкость и длительность технологической подготовки производства. Формообразующая оснастка здесь включает матрицу или оправку, а роль ответной части выполняет или среда, например, эластичная, или импульсное магнитное поле при деформировании методом магнитно-импульсной обработки металлов. При импульсной обработке может быть получена более высокая точность размеров и форм штампуемых деталей. Это достигается в результате создания избыточного давления на заготовку после прилегания ее к матрице или оправке. Создается сплошная пластическая зона по всему объему металла заготовки, что приводит к уменьшению упругих деформаций и повышению стабильности формы детали.

Для магнитно-импульсного воздействия выбраны типизированные детали типа окантовок люков, лежащие в одной плоскости или имеющие одинарную и двойную кривизну с различной формой сечений и размеров. Важным моментом при изготовлении таких деталей является точное прилегание отформованной части к поверхности матрицы.

Теоретические исследования посвящены выводу уравнений пластического деформирования тонкостенного листового материала под воздействием давления импульсного магнитного поля и приобретению формы в соответствии с технологической оснасткой, для этого выбрана схема магнитно-импульсного воздействия на листовую заготовку в зоне деформирования. Применение метода магнитно-импульсного деформирования определяется тщательным анализом его технологических возможностей и экономическим расчетом.

Для формовки поверхностей листовых деталей по матрице может представить интерес конструкция индуктора, рабочая поверхность которого эквидистантна внутренней поверхности детали. Для повышения эффективности формовку методом МИОМ рекомендуется проводить в несколько переходов. Еще одним вариантом может быть поэлементная формовка заготовки включением последовательно определенных зон индуктора. При выполнении операций отбортовки индуктор по своей форме соответствует форме детали, причем рабочая зона индуктора несколько превышает размеры детали, как во внутреннюю так и во внешнюю зоны.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРЯМОГО РЕГУЛИРУЕМОГО
НАГРЕВА ПРИ ТЕРМОВАКУУМНОМ СКЛЕИВАНИИ СОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ
СПУТНИКОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

***В.А.Романенков, Е.В.Морокова,
В.А.Тарасов, А.С.Филимонов***
(ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия», МГТУ им. Н.Э. Баумана)
Vladimir.Romanenkov@rsce.ru

При изготовлении сотовых панелей методом термовакuumного или вакуумно-автоклавного склеивания используются камерные, шахтные печи или автоклавы.

Нагрев изделия производится путем передачи тепла от нагревателя подвижному теплоносителю (воздух или азот) омывающем поверхность технологической оснастки и имеющем более высокую температуру и отдающим тепло оснастке и изделию при нагреве или более низкую при охлаждении, и постоянную при выдержке.

Практика показывает, что вследствие большой инерционности данного способа нагрев производится с малой скоростью при значительной неравномерности распределения температур на поверхности изделия (до 15-20 °С) и лишь по достижении температуры выдержки в установившемся режиме нагрева достигается требуемая неравномерность температур – 5 °С.

В результате неравномерного нагрева и последующего охлаждения появляются дефекты в виде несплошностей клеевых соединений и отклонений геометрических размеров изделий.

Используемый в термовакuumном стапеле способ нагрева предусматривает непосредственную позонную передачу тепла от нагревателей к изделию без теплоносителя тем самым обеспечивая максимальную скорость нагрева при минимальном градиенте температур.

В результате проведенных работ получены данные для нагреваемой поверхности размером 2800x2200 мм:

Заданная скорость нагрева от 20 до 100 °С – 2 °С/мин. - неравномерность температур в зонах до 0,3 °С.

Заданная скорость нагрева от 20 до 200 °С – 2 °С/мин. - неравномерность температур в зонах до 0,5 °С.

**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТЕПЛОСТОЙКОГО КОНСТРУКЦИОННОГО
ОРГАНОПЛАСТИКА ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ****Е.А. Толстопятова, А.И. Мелешко****(МГТУ им. Н.Э. Баумана, НПО «Композит»)**

В настоящее время к материалам, используемым в ракетно-космической технике, предъявляются высокие требования. Основные задачи – это увеличение прочностных характеристик и снижение массы разрабатываемых конструкций КА. Такую возможность предоставляют органоластики, армированные новым параарамидным волокном Русар разработки ООО НПП «Термотекс». Органопластик применяется в качестве конструкционного материала силовых оболочек конструкций, работающих под действием внутреннего и наружного давления.

Были проведены комплексные исследования свойств композиционных материалов, армированных рассматриваемым волокном. В качестве связующего было выбрано эпоксидное связующее дианового типа УП-2217. Изготовление деталей производится методом «мокрой» намотки органожгута на песчано-полимерную или металлическую оправку с последующим отверждением при температуре не ниже 160⁰С.

Физико-химические свойства: плотность = 1310 кг/м³, содержание смолы 22%, степень отверждения не менее 93%.

Теплофизические свойства были определены при температуре 50⁰С:

- удельная теплоемкость, $C_p = 1,22 \div 1,32$ кДж/кг К,
- коэффициент теплопроводности, $\lambda = 0,150 \div 0,163$ Вт/м К,
- коэффициент температуропроводности, $a = 0,96 \cdot 10^{-7}$ м²/с,
- коэффициент линейного термического расширения параллельно направлению армирования, $\alpha_{||} = -5,12 \cdot 10^{-6} \div -7,2 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹,
- коэффициент линейного термического расширения перпендикулярно направлению армирования, $\alpha_{\perp} = 47,6 \cdot 10^{-6} \div 58,8 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹.

Механические свойства:

- разрушающее напряжение при растяжении вдоль армирования при 20⁰С $\sigma_+ = 2982$ МПа, при 100⁰С $\sigma_+ = 2560$ МПа, при 150⁰С $\sigma_+ = 2502$ МПа;
- разрушающее напряжение при сжатии вдоль армирования при 20⁰С, $\sigma_- = 284,2$ МПа;

- модуль упругости при растяжении вдоль армирования при 20⁰С, E = 118868 МПа;

- разрушающее напряжение при изгибе при 20⁰С, $\sigma_{изг}$ = 646,8 МПа;

- разрушающее напряжение при сдвиге при 20⁰С $\sigma_{сдв}$ = 57,9 МПа.

На основании полученных результатов был выпущен паспорт «ОП-ЖР/17-Н» для рекомендации к опробованию в эксплуатационных условиях.

Литература

1. Жидкокристаллические полимеры / Под редакцией академика Н.А. Платэ. - А.В. Волохина, Г.И. Кудрявцев. Высокопрочные и высокомодульные волокна из жидкокристаллических полимеров. М.: Химия, 1988.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ КОРПУСОВ ТОКОПРОВОДЯЩИХ КАБЕЛЕЙ КА

*А.С.Филимонов, Е.Н.Сидоренков, Я.М.Баянова, И.В.Метелин
(МГТУ им. Н.Э.Баумана, ГКНПЦ им. М.В.Хруничева)*

alex72@mail.ru

Надежность эксплуатации космических аппаратов, имеющих сложное электронное оборудование на борту, зависит в большой степени от качества токопроводящих сетей. Наиболее ответственными элементами токопроводящих сетей являются разъемы электрических кабелей.

Обеспечить высокое качество контакта разъемов электрических кабелей космических аппаратов позволяют специальные корпуса – “законцовки” разного диаметра и формы, выполненные из алюминиевых сплавов толщиной – 0,15-0,2 мм. В условиях мелкосерийного производства и большой номенклатуры выпускаемых корпусов наиболее целесообразно при их изготовлении использовать магнитно-импульсные методы обработки металлов (МИОМ). Это позволяет совмещать такие операции как формовка, калибровка, обрезка торцов, пробивка отверстий, отбортовка и сварка без смены оборудования, оснастки и инструмента, что существенно увеличивает производительность производства изделий. Однако, при изготовлении образцов методом МИОМ возникает большое количество дефектов, связанных с недостаточным исследованием процесса магнитно-импульсной обработки, в том числе процесса сварки фольги. В связи с этим целью данной работы является ана-

лиз условий формирования дефектов при магнитно-импульсной обработке корпусов токопроводящих кабелей КА.

В работе проведена систематизация дефектов, возникающих при магнитно-импульсной обработке. Установлено наличие плохого сцепления металла в различных точках сварного шва; прожогов, возникающих как в зоне сварного шва, так и вне его; потери устойчивости при обжиме и отбортовке; дефектов, возникающих при формовке резьбы; брака при пробитии отверстий.

Поскольку наибольшее количество брака возникает при выполнении операции магнитно-импульсной сварки было проведено исследование структуры сварного шва оптическими средствами.

Были определены условия возникновения брака и сформулированы рекомендации по устранению причин брака и изменению технологического процесса изготовления корпусов токопроводящих кабелей КА.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ В УСЛОВИЯХ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ РКТ

Я. Ю. Яблуновский

(ОАО «Рыбинский завод приборостроения»)

barzov@sm.bmstu.ru

Актуальным направлением в области ракетно-космического машиностроения является поиск путей повышения эффективности технологических процессов гидроабразивного резания в условиях многономенклатурной обработки на основе исследования физических процессов протекающих в зоне формообразования.

Для решения этой задачи необходимо разработать математический аппарат для описания развития разрушения в сплошной среде при гидроабразивном резании и оценить напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя обрабатываемой детали.

В результате выполненных исследований в ОАО «Рыбинский завод приборостроения», корпорации «Вега» был разработан:

- комплекс математических моделей, описывающих движение фронта разрушения материала под действием гидроабразивной струи;
- установлена связь времени накопления дефектов микроразрушения с процессами разгрузки, происходящими в микроструктуре материала;

- предложен способ расчета времени накопления дефектов на основе прямого учета начального состояния обрабатываемого материала.

Практическая ценность исследования состоит в разработке технологических основ и приемов регулирования состояний технологической системы гидроабразивного резания, что позволяет обеспечить более высокие качественные показатели обрабатываемой детали с учетом изменения энергетических и динамических характеристик гидроабразивной струи. Кроме того, были разработаны рекомендации по технологическому повышению точности гидроабразивного резания, которые позволяют выбрать оптимальные параметры обработки деталей РКТ с учетом микроразрушений, происходящих в зоне воздействия гидроабразивной струи.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ПОЛИЭФИРНОЙ МАТРИЦЕ

В.А. Тарасов, Н.А. Степанищев

МГТУ им. Н.Э. Баумана

steklaus@bk.ru

Одним из перспективных способов получения полимерных нанокomпозитов является введение в полимерную матрицу углеродных нанотрубок (УНТ). Цель исследований сводится к поиску методов равномерного распределения наночастиц (гомогенизации) по объему полимерной матрицы и выявления отличия между однослойными и многослойными углеродными нанотрубками трёх отечественных производителей.

Определены режимы ультразвуковой гомогенизации УНТ в матрице (время обработки, частота и амплитуда) и термообработки УНТ и матрицы перед диспергированием. Гомогенизация нанодисперсий осуществлялась с помощью ультразвукового генератора производства ООО «Криамид», г. Москва. Изучены свойства эпоксидной и полиэфирной матриц после введения УНТ различными методами и измерено изменение таких характеристик жидкофазной матрицы, как: вязкость, температура экзотермической реакции, время начала гелеобразования.

В исследованиях были использованы углеродные нанотрубки трёх отечественных производителей:

- РХТУ им.Д.И.Менделеева, (д.х.н. Раков Э.Г.)
- ИНХС РАН г. Черноголовка (д.м.н. Крестинин А.В.)
- ООО «Таунит» г. Тамбов (д.т.н. Ткачёв А.Г.),

Углеродные нанотрубки (УНТ) имеют низкую плотность (однослойные углеродные нанотрубки - 1.4 г/см³ и многослойные углеродные нанотрубки - 1.8 г/см³). По удельной, отнесенной к плотности, прочности УНТ далеко превосходят все остальные материалы. Отработана методика изготовления образцов для испытаний на прочность с применением вакуумирования и постотверждения и проведены испытания образцов на растяжение, изгиб и сдвиг.

В настоящее время проводятся углубленные расчетно–теоретические исследования в области создания нанокompозитов на полимерной матрице с целью отработки технологии введения и равномерного распределения их по объёму.

СПОСОБ НАГРУЖЕНИЯ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТСЕКОВ РАКЕТ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

В.С.Дудников

(Днепропетровский национальный университет, Украина)

dudnikovvs@rambler.ru

В практике создания современных ракет необходимой является стадия опытно-конструкторской отработки прочности и жесткости отдельных отсеков ракет. Отсеки ракет в процессе наземной эксплуатации и полета подвергаются комбинированному воздействию продольных и поперечных усилий, изгибающих и скручивающих моментов. Расчет каждого отсека на прочность производят для нескольких расчетных случаев нагружения, под которыми понимается момент появления наиболее опасной с точки зрения прочности комбинации нагрузок. Во время статических испытаний стараются как можно точнее смоделировать эксплуатационные законы нагружения, соответствующие тому или иному расчетному случаю. От точности воспроизведения законов нагружения зависит достоверность определения несущей способности, жесткости, надежности, коэффициентов запаса прочности (коэффициентов безопасности), а в конечном итоге весовое совершенство конструкции каждого отсека и ракеты в целом.

Предложена установка, которая позволяет создавать следующие виды нагружения оболочечных конструкций: растяжение, сжатие, изгиб в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, кручение в двух противоположных направлениях, как по отдельности, так и в различных комбинациях. Она содержит четыре управляемых нагружающих устройства, присоединенных одним концом к верхнему торцу нагружаемой оболочки, а другим концом к основанию. Нагружающие устройства при

этом расположены попарно в двух перпендикулярных плоскостях, одна из которых параллельна оси оболочки, другая – перпендикулярно оси оболочки, закрепленной консольно нижним торцом на основании.

Отличительной особенностью такого способа (установки) является возможность проведения всех указанных простых и комбинированных нагружений последовательно во времени на одной и той же оболочке без перемонтажа установки. Соотношение между силовыми факторами можно изменять непосредственно в процессе нагружения с помощью специально разработанной системы управления. В качестве нагружающих устройств лучше всего использовать электромеханические устройства, разработанные на кафедре технической механики Днепропетровского национального университета. Используя прогнозирование несущей способности конструкции непосредственно в ходе эксперимента, можно проводить неразрушающие испытания, уменьшая количество натуральных изделий, выделяемых для экспериментальной обработки, что сохраняет материальные и финансовые средства.

**ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЖАЮЩИХ
УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ ОБЪЕКТОВ
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

В.С.Дудников

(Днепропетровский национальный университет, Украина)

В докладе рассмотрены результаты исследований по разработке конструкций электромеханических нагружающих устройств на базе одноступенчатых волновых зубчатых передач для проведения испытаний натуральных образцов объектов ракетно-космической техники на статическую прочность и жесткость. Исследования проводились на кафедре технической механики Днепропетровского национального университета.

Разработан параметрический ряд электромеханических нагружающих устройств, охватывающий нагрузки от 0,5 до 2000 кН. Нагружающее устройство содержит электродвигатель, одноступенчатую волновую зубчатую передачу с кулачковым генератором трения качения, гибкое колесо которой соединено с вращающимся элементом передачи винт-гайка трения скольжения.

В качестве привода использованы электродвигатели постоянного тока с безопасным напряжением питания 27 В. Размеры силовых винтов и гаек, их материалы и режимы термической обработки назначались из условия длительной работоспособности по критерию износа, а также

надежного самоторможения, что гарантирует безопасные условия эксплуатации при испытаниях, например внезапном (аварийном) отключении питания электродвигателя, а также позволяет удерживать нагрузку неограниченно долгое время при отключенном электродвигателе (без затрат энергии), что необходимо при испытаниях на длительную прочность, климатических испытаниях под нагрузкой.

Разработаны, изготовлены, испытаны и переданы в промышленную эксплуатацию экспериментальные образцы нагружающих устройств на усилия 10,50,200,1000 кН. В этих устройствах использованы оригинальные детали (гибкое и жесткое колеса, генератор деформаций) волновых зубчатых редукторов общего назначения, освоенных в серийном производстве Киевским редукторным заводом. Ряд конструктивных решений признан изобретениями.
