

Секция 19

Производство конструкций ракетно-космической техники**ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАСТРУЙНОЙ ДИАГНОСТИКИ
В СПЕЦИАЛЬНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ**

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

Традиционно наибольшее развитие в производстве изделий РКТ получили операционные ультраструйные технологии (УСТ), обеспечивающие высокую эффективность процессов резания или фрагментации любых конструкционных материалов, а также очистку поверхностей изделий от трудноудаляемых загрязнений. Помимо решения классических технологических задач формообразования деталей УСТ обладает следующими практически безальтернативными техническими преимуществами: полной пожаро-взрывобезопасностью при осуществлении ремонтно-восстановительных работ; бездефектностью обработки, а также вырезке образцов - свидетелей из материала конструкций для физико-механических испытаний; экологичностью. Однако физико-энергетическая основа УСТ, связанная с технологически управляемым процессом интенсивной гидроэрозии (диспергирования) поверхностного слоя материала в зоне ударно-динамического воздействия на него жидкофазной ультраструи предопределяет более широкую сферу практического применения данной инновационной технологии. В частности, физически обусловленная зависимость параметров гидроэрозионного разрушения от комплекса эксплуатационно-технологических характеристик и свойств конструкционного материала, подвергаемого ультраструйному воздействию, создает объективные технические предпосылки для развития методов и средств ультраструйной диагностики

(УСД). В связи с этим процедура ультразвукового диагностирования обеспечивает получение необходимой информации для оперативного контроля параметров качества поверхностного слоя объекта диагностирования, дает возможность количественной оценки его текущего и прогнозного состояния на ключевых эксплуатационно-технологических этапах жизненного цикла изделия РКТ.

Таким образом, под УСД будем понимать операционную УСТ, состоящую в воздействии на определенные участки поверхности конструкции или детали ультразвуковой жидкости (воды) или гидросuspензии с целью получения необходимой контрольно-диагностической информации об основных показателях качества изделия специальной техники. По результатам этого воздействия, таким как интенсивность гидроэрозии, форма и микротопография образующейся гидрокаверны, массогеометрическим характеристикам продуктов эрозии, а также косвенным признакам, например высокоэнергетическим сигналам акустической, экзoeлектронной и электромагнитной эмиссии, судят о физико-механических параметрах, характеризующих состояние поверхностного слоя объекта диагностирования. Основными из этих параметров являются: пластичность, прочность, твердость, уровень остаточных напряжений, структурно-фазовый состав и др. характеристики. Именно эти параметры ответственны за эксплуатационно-технологические свойства всего изделия, в частности за его остаточный ресурс, износостойкость, текущую поврежденность.

К основным преимуществам УСД необходимо отнести: возможность экспресс-оценки ключевых параметров состояния поверхностного слоя изделия или детали, изготовленных из любых конструкционных материалов; значительное число и объективная помехозащищенность информативно-диагностических параметров и признаков УСД, повышающих достоверность оценки текущего и прогнозного состояния изделия; технически весьма выгодное, сочетание процедуры ультразвукового диагностирования с операциями гидроочистки и резания, выполняемыми посредством одного и того же технологического оборудования; широкий диапазон управляемого варьирования режимами гидродиагностирования, имитирующего эксплуатационно-технологические нагрузки на конструкционный материал.

**КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКТОР УЛЬТРАСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ
МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ РКТ*****А.Л. Галиновский, С.К. Сальников, М.И. Абашин, С.А. Новожилов******(МГТУ им. Н.Э. Баумана)******galcomputer@mail.ru***

В настоящее время насчитывается целый ряд исследований направленных на решение оптимизационных задач в классической технологии гидроструйного и гидроабразивного резания и очистки материалов специальной техники. В частности решены задачи по определению рационального расстояния между соплом и поверхностью обрабатываемого материала, нахождению максимальной скорости перемещения струи в зависимости от удельного расхода абразива и использования ступеформирующих насадок различного диаметра, выбору оптимальных технологических характеристик абразивного материала и т.д. Однако задача выбора рациональных параметров кинематического фактора ультразвуки в процессе обработки материалов и изделий авиационной и ракетно-космической техники рассмотрена не была. Вместе с тем, как показал экспертный анализ, одним из общих параметров, существенно влияющих на результативность всех видов ультразвуковых технологий (УСТ) является фактор, определяющий взаимонаправленность ультразвуки жидкости и поверхности преграды в месте их взаимодействия – кинематический фактор УСТ. Исследования проводились по трем направлениям: теоретическое описание кинематического фактора, компьютерное имитационное моделирование, экспериментальная отработка. С практической точки зрения свою эффективность и результативность, сочетающуюся с возможностью получения оперативной, но в тоже время вполне достоверной информацией об оптимальных параметрах кинематического фактора, показали результаты компьютерного моделирования в среде AUTODYN. Данные работы проводились при решении ряда научно-практических задач: гидрорезания материалов РКТ, гидроочистки поверхностей от загрязнений при ремонтно-восстановительных работах, ультразвуковой обработки гидротехнологических сред применяемых в машиностроительном производстве, получения суспензий. Для каждой из этих задач были установлены свои рациональные параметры кинематического фактора, варьирующиеся в зависимости от вида материала, поставленных технологических задач, режимов обработки и др. Однако, как показал анализ, выбор данных оптимальных параметров не позволяет эффективно использо-

вать полученную в результате компьютерного моделирования информацию при обработке сложнопрофильных элементов деталей авиационной и ракетно-космической техники. Причины этого связаны в первую очередь с ограниченными возможностями применяемого технологического оборудования, которое не позволяет изменять вертикальную координату Z при автоматизированной работе, а ограничивается двух координатной, плоскостной системой X и Y . Эта специфика подавляющего большинства гидрорежущего оборудования 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. Такие дефекты в частности недопустимы при получении образцов для металлографических исследований при сегментации лопаток газотурбинных двигателей. Разработка и реализации указанной технологической оснастки, состоящей из привода осуществляющего линейное перемещение и круговое вращение детали, блока компьютерного управления позволяет с заданной скоростью подачи (варьируемой в широком диапазоне) обрабатывать детали РКТ со сложной кривизной поверхности.

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ КИНЕТИКИ
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ОТ
ЭЛЕКТРОЛИТА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОПЕРАЦИОННОМ МОДУЛЕ
ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ЛИНИИ**

В.А.Тарасов, А.Н.Алексеев, А.Н.Королев,

Ю.А.Цебро, Е.А.Проходцев

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

alxnik@mail.ru

В соответствии с работами /1,2/, в технологических модулях линий гальванического производства целесообразно иметь несколько ступеней промывки: 1-2 ступени предварительной струйной промывки и ступень заключительной диффузионной промывки погружением. Это позволяет повысить качество промывки деталей, сократить время послед-

ней, снизить потери воды и ценных химических соединений процессной ванны за счет оптимизации водообмена между ступенями промывки.

Однако при проектировании многоступенчатой промывки необходимо знание закономерностей изменения концентраций отмываемых электролитов на деталях, в баках и/или ваннах промывки.

В представленном докладе освещается выбранная методика экспериментальному исследованию кинетического характера изменения концентрации электролита в технологической системе операционного модуля никелирования с многоступенчатой системой промывки деталей, размещаемых на подвесках.

Методика исследования состояла в том, что промывке подвергались детали на подвесках с площадью поверхности 1 м^2 . Баки с водой ванн промывки имели объём $0,5\text{ м}^3$. Концентрация основных отмываемых компонентов электролита ГХО измерялась в отобранных из соответствующих сборников-дозаторов и баков пробах отмывающего раствора используемых ступеней промывки. Измерение концентраций основного отмываемого компонента (ООК) в растворах осуществлялось с помощью фотометрического и электрохимического методов.

Струйная промывка проводилась в течении 4 сек при подъеме подвески со скоростью $0,16\text{ м/с}$. Ширина зоны промывки составляла $0,8\text{ м}$. При проведении экспериментов диффузионная промывка погружением осуществлялась в течении 1 часа (вместо 1- 2 мин, регламентированных технологическим процессом). При струйной промывке использовались панели с 156 соплами коноидальной формы, формирующими пакет струй диаметром $0,7\text{ мм}$ и расположенными в два ряда со смещением центров отверстий для обеспечения воздействия струй на все без исключения точки поверхности деталей.

Методика тестировалась в условиях операции никелирования, где в качестве основного отмываемого компонента (ООК) электролита выступал никель серноокислый с концентрацией $250\text{-}300\text{ кг/м}^3$ ($250\text{-}300\text{ г/л}$).

В результате были получены закономерности изменения концентраций ООК на деталях, в сборниках-дозаторах и в баках ступеней промывки, что может служить основой для обоснования целесообразной интенсивности массопереноса отмываемого электролита между процессной ванной, баками ступеней струйно-динамической промывки и ванной промывки погружением операционного модуля (ОМ).

Предложены соотношения: для определения толщин слоев электролита, подвергаемых струйной промывке и удаляемых с поверхностей деталей и констант в экспоненциальном законе снижения концентрации электролита на поверхностях деталей.

Литература:

1. Алексеев А.Н., Тарасов В.А. Аналитическое описание конструктивно-технологических параметров высокоэффективных насадков и операций струйной очистки в процессах гальванохимической обработки // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение. – 2003. - № 4. - С. 84-95.
2. Алексеев А.Н., Тарасов В.А. Разработка и внедрение струйной пакетной технологии для очистки поверхностей деталей на предприятиях машиностроительного комплекса // Справочник. Инженерный журнал. – 2003. - №12. - С. 6-10.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ПРИ СВЕРХСКОРОСТНОЙ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

С.С. Корнеев, В.М. Корнеева

(МГТУ им. Н.Э.Баумана)

v_korneeva@list.ru

Высокие технологические возможности механической обработки лезвийным инструментом со сверхвысокими скоростями (свыше 50 м/с) открывает широкие перспективы использования ее в производстве. Решение этого вопроса требует знаний о величине и характере нагрузок, действующих на режущий инструмент.

Разработанная математическая модель стружкообразования позволяет проводить не только расчеты нагрузок, но и, используя полученные результаты расчета, дает возможность получить картину стружкообразования для конкретных условий обработки. Аналитическими исследованиями с использованием программного обеспечения установлено, что в отличие от обычного резания при обработке со сверхвысокими скоростями, вследствие локализации пластических деформаций в меньших объемах, начальная граница стружкообразования полностью отклоняется в стружку, что снижает шероховатость обработанной поверхности и глубину наклепанного слоя.

В процессе исследований динамики механической обработки со сверхвысокими скоростями было определено влияние волновых наложений на величину силы резания. Установлено, что колебания силы резания связаны с распространением волн напряжений в материале обрабатываемой детали. В отличие от обычного резания, волновые

наложения увеличивают величину силы резания в исследуемом диапазоне скоростей (50-300 м/с) на 30-50%, что необходимо учитывать при выборе предельно допустимых режимов обработки.

В условиях обработки со сверхвысокими скоростями превалирующее влияние на величину сопротивления пластическому деформированию в контактной зоне оказывает скоростной фактор, т.е. температура не успевает оказывать разупрочняющее действие на материал.

Таким образом, несмотря на снижение объема пластических деформаций в зоне стружкообразования, силовые нагрузки, действующие на режущий инструмент при обработке со сверхвысокими скоростями, возрастают, что объясняется влиянием инерционного фактора и волновыми наложениями.

Данные о нагрузках, действующих на инструмент, полученные в результате теоретических и экспериментальных исследований, позволили решить задачу определения технических требований к оборудованию и инструменту для сверхскоростной обработки.

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ
СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

В.А. Тарасов, А.В.Гуревский, А.Н.Полухин

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

polukhinartem@mail.ru

Технологический процесс гидроабразивного резания занял прочное место как метод контурного раскроя листовых материалов и панелированных конструкций ракетно-космической техники.

Дальнейшее совершенствование оборудования, разработка 5-ти координатных гидротехнологических установок для гидроабразивного резания создало предпосылки для пространственной обработки вогнутых и выпуклых поверхностей деталей.

В данном докладе предлагается технологическая схема черновой обработки вогнутых и выпуклых поверхностей деталей, для которой себестоимость будет ниже по сравнению с наиболее прогрессивным способом обработки – сверхскоростным фрезерованием. Предложен методический подход для выбора рациональной траектории движения струеформирующей головки и её угловой ориентации.

Показано, что проблемой объёмной гидроабразивной обработки может стать нестабильность формирования глубины целевого реза, а

важным фактором этой нестабильности является сложная динамика формирования щелевого реза, когда координаты x точек поверхности реза являются сложной функцией расстояния H прорезаемого слоя материала от лицевой плоскости и подачи S , т.е.

$$x=f(H,S) \quad (1)$$

В докладе предложен кинематический подход к построению функции (1). Он позволил связать подачу S с геометрией контурного реза, что важно для разработки управляющих программ.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АВТОКЛАВНОГО КОМПЛЕКСА
И ИНЕРТНОЙ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ**

В.А. Романенков, А.Ф. Колесниченко, М.В. Лобова

ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия»

(Vladimir.Romanenkov@rsce.ru)

При производстве теплозащитных покрытий пилотируемых кораблей «Союз ТМА» применяются материалы, в состав которых входят химические продукты, относящиеся к классу легковоспламеняющихся жидкостей — фенол, формальдегид, этанол.

В условиях производства покрытий — при повышенных температуре и давлении в присутствии кислорода, такие продукты создают пожаро-взрывоопасные смеси, которые могут приводить в возгораниям оборудования и дорогостоящих изделий.

Для обеспечения безопасности и технологической устойчивости производства тепловой защиты космических кораблей разработана технология вакуумно-автоклавного формования покрытий в специализированном автоклавном комплексе в азотной среде.

В состав комплекса входят: крупногабаритная автоклавная установка, станция разделения воздуха, азотная накопительная установка, вакуумная система, система охлаждения.

Технические характеристики комплекса:

1. Габариты рабочего пространства автоклавной установки — $\varnothing 5500$ мм \times высота 6000 мм;
2. Максимальная рабочая температура — 350 °С;
3. Максимальное рабочее давление — 1,6 МПа;
4. Неравномерность температуры в рабочем пространстве — ± 2 °С;

5. Максимальная скорость нагрева — 3 град/мин;
6. Максимальная скорость охлаждения — 2 град/мин;
7. Объем накопительной установки — 327 м³;
8. Давление в накопительной установке — 3,5 МПа;
9. Чистота азота, не менее — 99,5%
10. Максимальная масса обрабатываемого изделия с оснасткой — 20000 кг.

Параметры оборудования обеспечивают не только безопасность, но и высокую точность и стабильность поддержания технологических режимов при производстве изделий.

КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ С "ПЛАВАЮЩИМ" ПОРШНЕМ

А.В. Сгибнев, В.З. Болотин

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

vzbolotin@rambler.ru

Гидроцилиндр в испытательном динамическом стенде должен иметь низкое трение, равные площади под поршнем. Поэтому такие гидроцилиндры изготавливают без поршневых уплотнений, используя так называемые «щелевые уплотнения» между полостями гидроцилиндра: технологией изготовления обеспечивается минимальный зазор между поршнем и стенкой гидроцилиндра на всей длине поршня. Производство таких гидроцилиндров требует совместной расточки зеркала гидроцилиндра с направляющими втулками штока, предъявляет высокие требования к точности изготовления штока и поршня.

Была предложена конструкция «плавающего поршня» - кольцо из антифрикционного материала, самоустанавливающееся по корпусу и штоку гидроцилиндра. Была разработана методика расчета такого поршня, позволяющая минимизировать его длину с учетом большого изгиба штока, деформаций кольца и корпуса гидроцилиндра. На основе этой методики получены конструктивные параметры поршня динамического гидроцилиндра.

Разработаны конструктивные и технологические приемы крепления поршневого кольца к штоку гидроцилиндра.

Благодаря этому, при изготовлении гидроцилиндров удалось заменить расточные операции токарными, что привело к значительному

упрощению технологии и, в результате, к удешевлению гидроцилиндров.

По итогам этой работы сконструированы, изготовлены и успешно эксплуатируются, как недорогие малогабаритные динамические гидроцилиндры, так и скоростные гидроцилиндры с ходом 500... 1000 мм, на основе которых изготовлены динамические стенды для испытаний конструкций авиакосмической техники.

Литература:

1. Марутов В.А., Павловский С.А. Гидроцилиндры Конструкция и расчет. М., Машиностроение, 1966.
2. Богданов О.И. Приходько О.Б. Моделирование закона распределения давления в тонком слое жидкости. // Вестник Машиностроения.- 1976, № 10.- С.30-32.

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ
ИЗ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ**

В.И.Колпаков, В.В.Сабельников, В.В.Горюнов

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

SM12@sm.bmstu.ru, Kolpakov@sm.bmstu.ru

Перспективным направлением совершенствования снарядоформирующих зарядов является изготовление кумулятивных облицовок из высокоплотных и тугоплавких металлов. Одним из возможных способов получения целостных элементов из таких материалов является использование в конструкции зарядов комбинированных облицовок, представляющих собой два сферических мениска, собранных между собой с минимально возможным зазором в один элемент конструкции. При этом внешнюю (обращенную к заряду) облицовку рекомендуется изготавливать из высокопрочной стали, а внутреннюю (обращенную к преграде) – из тугоплавкого или высокоплотного металла. В качестве последнего могут использоваться тантал, молибден, ниобий, никель и т.п. Однако при изготовлении рассмотренной конструкции возникает ряд технологических проблем, которые обусловлены сложностью механической обработки перечисленных выше материалов и её сборки с требуемой точностью.

Так как тугоплавкие металлы относятся к классу труднообрабатываемых материалов, в данной работе рассмотрена возможность применения электрохимических методов обработки для обеспечения до-

статочной точности и качества соприкасающихся поверхностей облицовок. В работе дана классификация наиболее известных на данный момент физико-химических методов обработки деталей. Для решения поставленной задачи осуществлен выбор методов обработки, на основе которых составлен маршрутный технологический процесс. Кроме того, для каждого метода разработана схема обработки, рассмотрены основные особенности его практической реализации и даны рекомендации по выбору технологических режимов и технологических сред.

Ввиду тонкостенности комбинированных облицовок проведен гидродинамический анализ течения электролита в межэлектродном промежутке с целью достижения заданных требований конструкторской документации. С учетом рассмотренных технологических особенностей изготовления оценены погрешности формы получаемых поверхностей.

Таким образом, в результате проведенного исследования показано, что предложенная схема физико-химической обработки деталей позволяет реализовать сборку комбинированных облицовок с использованием тугоплавких и высокоплотных металлов с заданной точностью.

КОНТРОЛЬ ВЫСОКОИНТЕГРИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ПЕРЕД МОНТАЖОМ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ

И.Д. Дергунов
(ОАО «НИИ ТП»)

bykashka0@yandex.ru

В докладе представлена разработка устройства для контроля паяных соединений многовыводных электрорадиоизделий (ЭРИ) в корпусах типа BGA (BallGridArray), представляющий собой корпус, в котором штырьковые контакты заменены на шарики припоя.

В Федеральной Космической Программе России (ФКПР) сформированы новые требования для бортовой и наземной радиоэлектронной аппаратуры в перспективной ракетно-космической технике. Программа накладывает жесткие условия, достигнуть которые старыми методами проектирования не представляется возможным.

Проектирование многослойных печатных плат (МПП) приводит к тому, что приходится использовать сложные структуры. Исполнение требований ФКПР для функциональных блоков радиоэлектронной ап-

паратуры космических аппаратов (РЭА КА) невозможно без использования высокоинтегрированных ЭРИ.

Такие изделия могут выпускаются в корпусах типа QFP (QuadFlat-Package) с расположенными по краям выводами, PGA(PinGridArray) представляющий собой квадратный или прямоугольный корпус с расположенными в нижней части штырьковыми контактами, BGAи др.

Сейчас в электронной промышленности просматривается тенденция перехода к корпусам BGA.

Для обеспечения качества и надежности изделия, технологам, перед тем как установить микросхему на плату, необходимо удостовериться в полной целостности микросхемы и всех ее контактов. К дефектам микросхемы относятся короткие замыкания между выводами, обрывы либо отсутствие выводов.

Оптимальным решением для локализации дефектов выводов корпусов является электрический контроль.

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ПРИВОДОВ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В.С.Дудников

(Днепропетровский национальный университет, Украина)

dudnikovvs@rambler.ru

Период работоспособности некоторых объектов космической техники напрямую зависит от долговечности функционирования бортовых электромеханических приводов, включающих зубчатые передачи различных типов. В процессе эксплуатации зубчатые передачи, в частности, подвергаются износу, интенсивность которого и определяет период функционирования привода. Для увеличения этого периода в условиях невесомости, когда невозможно организовать смазку из жидкой ванны, обычно идут по пути повышения твердости материалов зубчатых колес, используют различные твердосмазочные покрытия, изготавливают одно из пары зубчатых колес из спеченного порошкового материала, пропитываемого при изготовлении жидкой смазкой, например из бронзо-графита.

Однако существует еще один очень простой и эффективный, но почему-то не используемый на практике путь - корригирование зубчатого зацепления с целью существенного снижения и выравнивания между собой величин удельных скольжений профилей зубьев. Для получения наибольшего эффекта от корригирования необходимо использовать

максимально возможные положительные коэффициенты смещения зуборезного инструмента. При этом, как правило, увеличивается контактная и изгибная прочность зубьев, что позволяет увеличить нагрузочную способность зубчатой передачи или уменьшить ее габариты и вес.

Для упрощения и ускорения процесса подбора коэффициентов смещения рекомендуется воспользоваться готовыми блокирующими контурами, построенными для заданного сочетания чисел зубьев колес. При отсутствии готовых блокирующих контуров потребуются перебор множества вариантов с обязательной проверкой областей существования передачи, особенно при внутреннем зацеплении.

Расчеты, проведенные для привода солнечных панелей спутника, показали, что срок службы зубчатых передач по критерию износа может быть увеличен в пять и более раз.

На кафедре технической механики разработаны методики расчета зубчатых передач внешнего и внутреннего зацепления, в которых соединены воедино вопросы геометрического синтеза и прочности (изгибной, контактной, износостойкости).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ-ВЫТЯЖКИ ПЛАСТИЧНЫМ МЕТАЛЛОМ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.А.Тарасов, М.А.Бабурин, А.С.Филимонов

(МГТУ им. Н.Э.Баумана)

alex72@mail.ru

Современное развитие космической техники связано с усложнением конструкций и увеличением степени их надежности при улучшении такой тактико-технической характеристики как масса изделия. В целом это требует применения большого количества качественных тонкостенных деталей сложных форм. При их изготовлении возникает множество проблем, требующих поиска новых технологических решений. В качестве одного из таких решений предлагается применение операции штамповки-вытяжки полых деталей сложных форм КА пластичным металлом. Однако, физические процессы, протекающие при различных схемах реализации такой операции недостаточно изучены. Поэтому в данной работе проводятся исследования процессов формообразования деталей пластичным металлом (свинцом С1).

На основе теории Попова Е.А. и по результатам экспериментальных исследований установлены практически значимые аналитические

зависимости, связывающие геометрические параметры оснастки, свойства штампуемых материалов, удельные давления и максимальные коэффициенты вытяжки. Исследования осуществлялись на матрицах как с конической, так и с тороидальной заходной частью.

По результатам исследований выявлено, что использование пластичной среды при штамповке позволяет существенно увеличить коэффициент вытяжки, практически исключить складкообразование и разнотолщинность деталей, повысить их геометрическую точность, снизить финансовые расходы на оборудование и штамповую оснастку, расширив тем самым технологические возможности операции. Также были выявлены возможности операции при штамповке высокопрочных и малопластичных сталей и сплавов.

Таким образом, проведенные в работе исследования позволяют оценить целесообразность применения операции штамповки-вытяжки пластичным металлом для формообразования различных деталей КА, выбрать оптимальные схемы ее проведения, оснастку и определить технологические режимы.

РЕАЛИЗАЦИЯ РОТОРНО-СТРУЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ РКТ

С.Г.Муляр

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

m_serгей@inbox.ru

Ультраструйная технология – технология, позволяющая производить обработку различных поверхностей и деталей машин и строений путём воздействия на них струи жидкости сверхвысокого давления (более 1000 атмосфер).

Создание необходимого для обработки давления производится за счёт помещения жидкости в быстровращающийся ротор, в котором за счёт действия центробежной силы происходит выдавливание жидкости через микросопла.

В работе было рассмотрено два варианта конструктивного исполнения ротора:

1) Барабанного типа, представляющий собой толстостенный полый цилиндр, наполненный жидкостью, имеющий сопла в нижней поверхности;

2) Трубчатого типа, представляющий собой цилиндр малого размера с закреплёнными на нём трубками постоянного сечения, направленными в радиальном направлении.

Материал, из которого может быть изготовлен ротор - титановый сплав ВТ4. Производился расчёт наиболее выгодного радиуса ротора с целью получения максимального КПД: максимально возможная производительность при минимальных потерях на сопротивление внешним и внутренним факторам, возникающим при его работе.

Оценочный расчёт оптимального радиуса установки показал, что на режимах, обеспечивающих удаление большинства загрязнений ($\omega > 28000$ об/мин.) радиус установки составит 23 - 25 см. данное значение неприемлемо с точки зрения габаритов установки. Для расчёта на прочность был выбран радиус 12 см.

Прочностной расчёт ротора показал, что применение барабанного типа более оправдано, нежели трубчатого. При изготовлении барабана будет произведена намотка углепластика на ротор с целью повышения эксплуатационных и прочностных характеристик. Сам ротор будет представлять собой эллипсоид с расположением сопел по экватору.

ДВУХКООРДИНАТНЫЙ ПРИВОД С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

М.И. Абашин

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

texhelp@list.ru

Двухкоординатный привод с программным управлением предназначен для ультразвуковой диагностики мелкогабаритных деталей и получения образцов для исследований и испытаний из деталей, обладающих сложной формой поверхности. Целесообразность использования гидрорезания при получении образцов для испытаний и исследований (например, металлографических) продиктована: низкой температурой в зоне резания (~ 70 °С), что исключает термическое влияние на объективность исследования, малыми остаточными напряжениями, малой глубиной наклепа поверхностного слоя реза.

Суть ультразвуковой диагностики состоит в том, что при воздействии на определенные участки поверхности контролируемого (диагностируемого) объекта жидкостной или абразивно-жидкостной струи, могут быть оценены параметры этого воздействия: пластическая деформация поверхностного слоя, продукты гидроэрозии, профиль образовавшейся гидрокаверны и т.д. Исходя из этих параметров, могут быть

сделаны выводы о качестве изготовления детали, остаточном ресурсе и т.п.

Двухкоординатный привод изготовлен в виде двух функциональных блоков: программируемого блока управления и непосредственно самого привода. Привод реализует горизонтальное движение платформы (координата X) и вращательное движение относительно оси, перпендикулярной оси X (координата B). В качестве исполнительных органов применены шаговые двигатели. Для повышения точности позиционирования и увеличения плавности хода электронное дробление шага.

Управление подачей может осуществляться тремя путями: работа по ранее записанной на флеш-карту программе; ручную, т.е. кнопками управления, расположенными на передней панели блока управления; с персонального компьютера в режиме консольных команд и в режиме оперативной загрузки программы в память устройства. Устройство выдает через последовательный интерфейс RS-232 информацию о текущем значении подачи по оси X и B и режиме работы (работа по программе, тест, прямая передача программы с ПК, ручное управление).

Принцип действия: исследуемый объект или деталь, из которой должен быть получен образец, устанавливается в держатель. По мере перемещения детали (исследуемого объекта) на нее воздействует сверхскоростная жидкостная или абразивно-жидкостная струя, что приводит к гидроэрозии поверхности в зоне контакта ее с обрабатываемой деталью. Основное преимущество по отношению к существующим устройствам – возможность программирования закона перемещения и его производных по двум независимым координатам. В данном устройстве реализована возможность изменения скорости и ускорения подачи по осям X и B, что позволяет наиболее эффективно производить разрезку деталей с переменной толщиной. Устройство также может быть использовано для подбора оптимальной подачи экспериментально. Максимальная масса обрабатываемой детали/объекта испытаний – 1 кг. Точность позиционирования рабочих органов не менее 0,1 мм/м.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА
ПРИ СБОРКЕ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

*П.В.Круглов, И.А.Сутырин, В.Ю.Аливер, И.А.Болотина, А.М.Носков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
sm12@sm.bmstu.ru*

В данной работе предлагается внедрение в систему технологической подготовки сборочного производства типового ракетно-космического предприятия одной из групп объектов системы автоматизации 1С:Предприятие 8.1 – «бизнес-процессов» и «задач». Аналогом «бизнес-процесса» среди технологической документации является технологический процесс изготовления детали, сборки и испытаний сборочной единицы (СЕ). «Бизнес-процесс» разбит на «задачи» – операции технологического процесса, содержащие сведения об исполнителях, рабочих местах, участках, цехах. Отдельный экземпляр каждого «бизнес-процесса» описывает технологический паспорт на сборочную единицу или изделие, в котором отмечаются все операции, выполняемые по ходу технологического процесса.

В объект «бизнес-процесс» заложена возможность формирования узлов с условиями, в которых расходятся или сходятся ветви задач, аналогичные схемам сборки изделий. Это позволяет описывать параллельный принцип сборки отдельных узлов и агрегатов, который широко используется в ракетно-космическом производстве. При выполнении всех задач всех ветвей, сходящихся в узле, разрешается переход к следующим операциям «бизнес-процесса», т.е. на общую сборку отдельные узлы попадут тогда, когда эти узлы автономно соберут и испытают. Следует отметить, что для технологических процессов изготовления деталей такого ветвления не требуется.

Визуализация «бизнес-процесса» (аналог – схема сборки) позволяет наглядно оценить маршрут изготовления или сборки и испытаний. На этапе технологической подготовки производства это позволит выявить очевидные ошибки разработчиков технологии, а на этапе производства, за счет отражения хода выполнения технологического процесса в реальном режиме времени и регистрации всех выполненных операций, покажет те рабочие места, участки, цеха с исполнителями, на которых в данный момент находится конкретная деталь или сборочная единица.

Использование такого подхода позволит для любого выпущенного предприятием изделия по запросу выдавать всех исполнителей, все рабочие места, через которые прошло изделие, дату и время выполнения всех операций для данного конкретного экземпляра объекта производства.

Комбинация совокупности «бизнес-процессов» всего производства позволит строить сетевые графики производственного процесса,

показывать загрузку рабочих мест, участков и цехов, выводить информацию по ходу технологического процесса по каждому изделию в реальном режиме времени. Предварительное тестирование модели системы было успешно проведено в виде программы для составления расписаний лабораторного практикума студентов вуза. Таким образом, внедрение объектов 1С:Предприятие 8.1 – «бизнес-процессов» и «задач», в систему технологической подготовки сборочного производства типового ракетно-космического предприятия позволяет повысить оперативность управления производством, снизить временные затраты на документооборот при переходе к серийному производству ракетно-космической техники.

О ВЫБОРЕ СХЕМЫ ПНЕВМОТЕРМИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ

М.В.Ковалевич

(МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского)

kovalevich_mv@mail.ru

Пневмотермическая формовка является эффективным способом изготовления листовых деталей сложной формы. Формообразование происходит в матрицу в результате действия избыточного давления газа. При этом рекомендуется выдерживать оптимальные температурно-скоростные режимы деформации соответствующие режиму сверхпластичности для штампуемого материала.

Технология позволяет получать детали с высокой точностью за один штамповый переход. Лимитирующий фактор – разрушение заготовки в зоне максимальной деформации или концентратора напряжений. Основным недостатком технологии является разнотолщинность материала. Часто именно это становится фактором, ограничивающим применение технологии.

Для уменьшения предельной деформации применяют совмещение традиционных операций листовой штамповки (вытяжка, гибка) и пневмотермической формовки. Например, для изготовления обтекателей с фланцем одинарной кривизны производится закатка заготовки по радиусу на 3-х валковой гибочной машине, после чего выполняется пневмотермическая формовка. Необходимость зажима по цилиндрической поверхности никак не влияет на герметичность рабочей полости.

При выборе схемы формовки необходимо провести анализ распределения толщины. Например, совмещение гибки по радиусу увеличивает толщину на дне обтекателя, но увеличивает и разницу толщины

между дном и угловыми участками. В то же время только пневмотермическая формовка увеличит степень деформации, но уменьшит разнотолщинность.

В настоящее время для деталей сложной формы выполнить аналитический расчет распределения толщины не представляется возможным. Получить информацию возможно или при помощи конечно-элементного моделирования, или по результатам формовки уменьшенных образцов. Первый способ более выгоден экономически, второй позволяет лучше и надежней понять особенности формовки конкретной детали.

Технология отработана на ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» совместно с кафедрой ТПЛА МАТИ. Изготовлено несколько партий алюминиевых деталей сложной формы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМОВКИ-ВЫТЯЖКИ

А.С. Чумадин, Н.В. Ульвис
(МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского)
tpla@mati.ru

Процессы формовки и вытяжки листового материала широко используются в машиностроении для получения деталей типа днищ. В производстве часто применяют совмещенный процесс формовки-вытяжки, который недостаточно проанализирован в технической литературе. Кроме того, технология производства днища может содержать несколько переходов формовки-вытяжки с промежуточными отжигами материала.

В настоящей работе предлагается осуществлять расчеты многопереходных процессов на основе математической модели осесимметричного деформирования листовой штамповки которая дает возможность проводить расчеты немонотонных и нестационарных процессов.

Предполагается на каждом переходе формовки-вытяжки осуществляется численный расчет напряженно-деформированного состояния.

Граничные условия для расчета каждого перехода задаются в виде толщины стенки в полюсной части купола детали и могут быть уточнены в зависимости от величины утяжки (вытяжки) фланца в полость матрицы.

Предлагаемая модель для расчета многопереходных процессов формовки-вытяжки деталей хорошо согласуется с результатами экспе-

риментальных работ по изготовлению днищ, которые были выполнены на большом числе листовых заготовок из сплава АМгбМ с исходными толщинами стенок 0,77 и 0,92 мм. Было установлено, что погрешности в расчетах перемещений, деформаций и формообразующего давления жидкости по переходам не превышают 5%.

Высокая достоверность расчета дает возможность использовать предлагаемую методику расчета для оптимизации многопереходных процессов формовки-вытяжки с целью, например, уменьшения разнотолщинности окончательно готового изделия; уменьшения числа переходов; для снижения величины пружинения (упругой отдачи) после штамповки и т.д.

Предлагаемый метод расчета многопереходного процесса формовки-вытяжки деталей типа днищ дает возможность учесть различные технологические факторы, влияющие на характеристики окончательно готового изделия и, следовательно, оптимизировать технологию изготовления таких деталей в зависимости от поставленной задачи.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ОБЖИМЕ КОЛЬЦА

А.С.Чумадин, В.И.Ершов, А.А.Шишкин

(МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского)

tpla@mail.ru

При изготовлении баллонов высокого давления наиболее перспективной является технология производства на основе цельноштампованных лейнеров, так как изделия полученные таким образом обладают более высокими ресурсными характеристиками по сравнению со сварными.

Основные проблемы, связанные с обжимом тонкостенных заготовок, связаны с окружной потерей устойчивости в зоне деформации. Существует много способов расчета устойчивости тонкостенных заготовок в упругих и пластических задачах. В основном эти решения опираются на предположение об исключительной малости возмущений для перевода заготовки из одного состояния равновесия в другое. Однако в данном случае это предположение является некорректным. При обжиме тонкостенной кольцевой заготовки по жесткой матрице малого возмущения будет недостаточно, чтобы вызвать потерю устойчивости заготовки с образованием складки, так как под действием окружных сжимающих напряжений кольцо постоянно прижимается к поверхности матрицы.

Следовательно, для корректного решения указанной задачи необходимо установить физические причины и описать механизм возможного появления возмущения, в результате которого нарушается контакт заготовки с матрицей, переходя из устойчивого состояния в неустойчивое состояние с последующим образованием складки.

Основой возможных появлений значимых возмущений при обжиме может быть неравномерность пластических деформаций заготовки в окружном направлении, вызванная как исходной неоднородностью заготовки, так и накопленной неоднородностью в процессе пластической деформации из-за различного влияния сил трения со стороны матрицы, неравномерного упрочнения и других факторов. В результате может возникнуть локальная разнотолщинность кольцевой заготовки, которая помимо основных сжимающих нагрузок вызовет изгибающий момент. Действие изгибающего момента будет приводить к локальному изгибу заготовки в зоне утолщения, вызывая в определенных условиях нарушение контакта заготовки с инструментом и последующим отходом части заготовки от матрицы. В результате определения этих условий из энергетических соображений становится видно, что любая разнотолщинность заготовки будет приводить к нарушению контакта заготовки с матрицей.

Для определения условий образования складки в той части заготовки, которая отошла от матрицы, также так же можно использовать энергетическое решение. Для того, чтобы в зоне внеконтактной деформации заготовки образовалась складка, необходимо, чтобы приращение работы на ее образование было меньше, чем приращение работы на утолщение стенки заготовки в этой зоне.

Преимущества данного метода решения состоят в том, что предложен и исследован новый механизм потери устойчивости, который связан с разнотолщинностью заготовки, позволяющий определить количественное влияние этого фактора.

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИЭФИРНЫХ МАТРИЦ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЁМ ВВЕДЕНИЯ В НИХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Н.А. Степанищев, Н.А. Виденкин, О.Ю. Заяц

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

niknediv@rambler.ru.

Известно, что при создании композитов приходится сталкиваться с существенной разницей свойств матрицы и наполнителя, что не позво-

ляет максимально использовать характеристики более прочного компонента - армирующего наполнителя. Поэтому необходимо стремиться максимально приблизить физико-механические свойства матрицы к свойствам наполнителя.

В данной работе мы рассматриваем полимерные композиционные материалы (ПКМ) с матрицей на основе полиэфирных смол. Они характеризуются относительно более низкими механическими свойствами, чем композиты на основе иных связующих (эпоксидных, фенольных смол), однако обладают бесспорными технологическими преимуществами: имеют программируемое время начала гелеобразования, что позволяет использовать прогрессивные вакуумные технологии (например, вакуумную инфузию), а также более экологичны.

Перспективным методом улучшения свойств полиэфирных матриц является введение в них углеродных нанотрубок. Данный метод позволяет, сохраняя технологические преимущества, поднять физико-механические характеристики полиэфирных смол до уровня (и даже выше) эпоксидных.

В ходе работы были измерены такие характеристики матрицы, как вязкость, температура экзотермической реакции, время начала гелеобразования, а также проведены испытания полученных после полимеризации образцов на растяжение, изгиб и сдвиг. Путём анализа зависимостей данных параметров от концентрации нанотрубок в связующем была установлена её оптимальная величина. В качестве метода контроля качества улучшенной полиэфирной матрицы предлагается использовать измерение вязкости смеси до полимеризации, в силу существования установленной зависимости между вязкостью смеси, оптимальной концентрацией нанотрубок и механическими характеристиками конечного продукта.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА ОТНОСИТЕЛЬНО ЗАГОТОВКИ ПРИ НАКАТЫВАНИИ РЕЗЬБ

А.Н.Афонин

(Орловский государственный технический университет)

af@au.ru

Резьбовые детали нашли широкое применение в ракетно-космической и авиационной технике. Одним из наиболее эффективных способов резьбоформообразования является накатывание. Особенностью процесса накатывания резьб является наличие проскальзывания

между инструментом и заготовкой. При накатывании резьб тангенциальные составляющие скоростей резьбонакатных роликов и заготовки совпадают только в одном сечении по высоте профиля, которому соответствуют диаметры, называемые диаметрами зацепления.

Проскальзывание инструмента и заготовки относительно друг друга имеет как положительные, так и отрицательные стороны. С одной стороны, наличие взаимного проскальзывания приводит к снижению шероховатости поверхности витков накатанной резьбы. С другой, проскальзывание способствует повышению износа резьбонакатного инструмента. Установлено [Марков Д.П. Взаимосвязь коэффициента трения с проскальзыванием в условиях взаимодействия колеса с рельсом // Вестник ВНИИЖТ, 2003, №3], что при пластическом контакте тел при качении с проскальзыванием коэффициент трения с увеличением проскальзывания возрастает и при достижении проскальзыванием некоторой критической величины становится равным коэффициенту трения скольжения. Для контакта двух закаленных цилиндрических роликов критическая величина проскальзывания составляет 1...3,5%.

В связи с этим целесообразно управлять скоростью взаимного проскальзывания таким образом, чтобы увеличивать ее там, где необходимо добиться минимальной шероховатости, и уменьшать там, где требования к шероховатости поверхности резьбы невысоки. Однако, известные исследования кинематики процессов резьбонакатывания были посвящены определению проскальзывания инструмента и заготовки только по линии, соединяющей центра их вращения. При этом рассматривался только случай накатывания наружных цилиндрических резьб роликами.

В результате проведенных исследований определены поля скоростей взаимного проскальзывания в пятне контакта для различных соотношений диаметров инструмента и заготовки при накатывании цилиндрических резьб роликами и плоскими плашками. Установлено, что величина проскальзывания вершины инструмента при накатывании роликами метрических резьб достигает 8%, а при накатывании трапециевидных 16%.

Особенно серьезной проблемой повышенный износ инструмента вследствие проскальзывания витков резьбы ролика относительно витков резьбы заготовки является при накатывании наружных конических резьб роликами с радиальной или осевой подачей.

Из полученных зависимостей можно сделать вывод о том, что при накатывании конической резьбы с увеличением длины накатываемой резьбы проскальзывание витков ролика относительно заготовки на торцах увеличивается. Увеличение угла конуса резьбы также влечет за собой увеличение проскальзывания резьбонакатного инструмента относительно заготовки. При увеличении диаметра ролика проскальзывание уменьшается.

Учитывать влияние скорости проскальзывания необходимо при накатывании цилиндрических резьб с отношением высоты профиля к диаметру более 0,1 и конических резьб с углом конуса более 2 градусов. При накатывании конических резьб скорость накатывания должна быть ниже на 10...20%, чем при накатывании цилиндрических. Для повышения стойкости роликов при накатывании конических резьб необходимо также выбирать инструмент по возможности наибольшего диаметра, насколько это позволяет конструкция применяемого оборудования и технологической оснастки.

АНАЛИЗ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ПРУЖИНЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ КАЛИБРОВКЕ ЭЛАСТОМЕРАМИ

В.А.Тарасов, В.Д.Баскаков, А.С.Софьин

(МГТУ им.Н.Э.Баумана)

anton_s03@list.ru

Калибровка эластомерами играет важную роль в обеспечении геометрической точности оболочечных деталей. Однако достижение высокой точности изделия при калибровке осложняется нестабильностью пружинения, вызванной непостоянством конструктивных параметров партии заготовок, нестабильностью режимов и условий калибровки, а также погрешностями технологического оснащения и оборудования.

С целью создания методики выбора режимов и условий высокоточной калибровки оболочковых деталей эластомерами разработана математическая модель, позволяющая с помощью аналитических соотношений оценить номинальное значение остаточного зазора между калибруемой поверхностью и носителем формы штамповой оснастки, а также поле рассеяния этого параметра под воздействием дестабилизирующих факторов. Для построения модели проведен анализ напряженно-деформированное состояние материала оболочковых деталей осе-

симметричной формы на стадиях ликвидации начального зазора между матрицей и заготовкой, сжатия ее по толщине и последующего пружинения при снятии калибрующей нагрузки.

С помощью разработанной математической модели для детали типа сферический мениск проведен анализ влияния неустойчивости режимов и условий калибровки на поле рассеяния остаточного зазора между заготовкой и жестким элементом штамповой оснастки. Установлено, что наибольший вклад в поле разброса остаточного зазора вносят поля рассеяния давления, действующего на заготовку при ее сжатии по толщине, толщины заготовки, предела текучести ее материала. Для схем калибровки на обжим и на раздачу заготовки определены основные пути стабилизации остаточного зазора.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ЛА НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В.А. Барвинок, В.П. Самохвалов, Ю.В. Пудовкина

(СГАУ им.С.П.Королева)

bogdanovich@ssau.ru

При изготовлении изделий ракетно-космической техники одним из трудоемких процессов является монтаж систем трубопроводов. Трассировка трубопровода проводится после сборки основных узлов и общей компоновки. Форма трубопровода определяется наличием свободных объемов в элементах конструкции и субъективным фактором, зависящим от квалификации исполнителя. Монтаж проводится в несколько этапов. После получения шаблонов профиля трубопровода происходит разбиение на отдельные элементы, включающие прямолинейные участки, криволинейные патрубки, переходники по диаметру и компенсаторы. Ошибки при изготовлении элементов и сварки трубопровода могут формировать «монтажные напряжения», которые в процессе эксплуатации приводят к «нештатным ситуациям» и разрушению системы трубопровода. Данные по отказам при наземных испытаниях систем трубопроводов показывают, что около 30% из них приходится на технологические и монтажные процессы при изготовлении элементов и их сборке. Причиной приведенных отказов является несовершенная технология изготовления деталей, монтажа, а также выбор рациональной прокладки коммуникаций.

Одним из возможных вариантов устранения подгоночных работ по «месту», при монтаже трубопроводов и достижения взаимозаменяемости является моделирование трассы системы и технологических процессов изготовления элементов с обеспечением их эксплуатационных характеристик. При решении проблемы применен комплексный подход. Этот метод наиболее эффективен, когда создается новое изделие, конструктивные и геометрические параметры которого существенно отличаются от предыдущих изделий. При моделировании трубопроводных систем варианты компоновки принимаются на основе исследований по эффективности и надежности принятых решений, а также анализа напряженно-деформированного состояния элементов на основе КЭ модели.

Для достижения поставленной задачи применяется метод имитационного моделирования. Это процесс, конструирования на ЭВМ модели сложной реальной системы, функционирующей во времени, и постановки экспериментов на этой модели с целью понять поведение системы и оценить различные факторы, обеспечивающие функционирование.

При разработке схемы и технологии изготовления имитационное моделирование применяется, когда:

- дорого или невозможно экспериментировать на реальном объекте;
- невозможно построить аналитическую модель: в системе есть время, причинные связи, последствие, нелинейности, стохастические (случайные) переменные;
- необходимо симитировать поведение системы во времени.

При моделировании системы трубопроводов в качестве влияющих факторов рассматриваются внешние воздействия, к которым относятся: командные сигналы, на которые система должна реагировать, воздействия, на которые система не должна реагировать, и должна быть устойчивой. Это вибрации, удары, перегрузки, климатические воздействия.

В качестве контролируемых параметров принимаются: геометрические (зазоры, радиусы сгиба элементов трубопроводов, величины утонения стенки и т. д.) и физические параметры (герметичность, чистота поверхности, прочность и т. д.).

Достижение необходимых качественных показателей определяется правильно выбранным методом изготовления деталей и методом их сборки.

При выборе параметров технологических процессов изготовления учитываются следующие факторы: минимизация длины трубопроводных систем; минимизация количества элементов трубопроводов; минимизация массовых характеристик трубопроводной системы; выбор метода изготовления. Таким образом, на этапе проектирования технологии изготовления элементов и сборки трубопроводов можно прогнозируются качественные показатели системы в целом.

Научно-исследовательская работа проводится в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

РАЗРАБОТКА СИЛОВОГО ПРИВОДА ИЗ СПЛАВА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

В. А. Барвинок, О. В. Ломовской, А. А. Шаров, А. А. Грошев

(СГАУ им.С.П.Королева)

barvinok@ssau.ru

подавляющее большинство металлических и неметаллических материалов, предназначенных для различных сфер деятельности, используется в качестве конструкционных материалов.

Существует группа материалов с особыми физико-механическими характеристиками, которые находят широкое применение в технике. Ярким представителем таких материалов является группа сплавов с термоупругими мартенситными превращениями и термомеханической памятью – материалы обладающие эффектом памяти формы (ЭПФ).

На кафедре ПЛА и УКМ СГАУ создан силовой привод из сплава с ЭПФ предназначенный для расфиксации подвижных элементов конструкции малых космических аппаратов с целью исключения ударных нагрузок в процессе расфиксации. Созданный силовой привод многоцелевого использования, позволяет провести его наземную отработку на одном экземпляре, и тем самым обеспечить его надежное функционирование при расфиксации.

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

Проведенные патентные исследования показали, что разрабатываемая чека с силовым приводом из сплава с ЭПФ по своим параметрам имеет технический уровень не ниже аналогов, а по показателю трудоемкости отработки и испытаний превосходит известные аналоги.

Для успешного внедрения силового привода с ЭПФ в созданном устройстве проведена модернизация существующей методики проектирования силового элемента из сплава с эффектом памяти формы путем уточнения и детализации ранее разработанной на кафедре ПЛА и УКМ математической модели функционирования данного силового элемента.

Разработанная инженерная методика была использована при проектировании силового привода предназначенного для работы в составе узла расчеховки малого космического аппарата. Изготовлены опытные образцы силового привода из сплава с ЭПФ. Проведены лабораторно – отработочные испытания созданных образцов силового привода из сплава с ЭПФ, выполненного из проволоки ТН-1.

В результате испытаний определены следующие параметры процесса работы силового привода из сплава с эффектом памяти формы:

Перемещение ползуна $\Delta l = 4.1 \pm 0.05$ мм;

Усилие на ползуне $F = 200$ Н;

Температура силового элемента в начале рабочего хода $T_n = 70 \pm 2^\circ\text{C}$;

Температура силового элемента в конце рабочего хода $T_k = 140 \pm 10^\circ\text{C}$;

Время совершения рабочего хода $t = 30$ секунд.

Результаты испытаний подтвердили стабильную многоцикловую работу созданного силового привода из сплава с эффектом памяти формы.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ
ТОЧЕЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Ю.А.Вашуков

(СГАУ им.С.П.Королева)

barvinok@ssau.ru

При определении прочностных характеристик механических точечных соединений изделий из композиционных материалов важным является определение критического радиального натяга по контуру от-

верстия с крепежным элементом. Это объясняется неоднородностью материала, его малым относительным удлинением и упруго-вязкими свойствами полимерного связующего. Имеется ряд критериев прочности, позволяющие оценить предельное состояние для упругих ортотропных и однородных материалов. Однако в этих критериях не учитываются такие особенности композитов, как различная прочность на растяжение и сжатие. В работе предложено использовать критерий прочности Дж. Марина, учитывающий эту особенность.

Для определения прочностных характеристик предложено проводить испытания на статическое растяжение образцов и на смятие болтовых соединений пластин из этого материала. При статическом растяжении определяли прочностные характеристики по главным осям R^{p1} и R^{p2} . Испытания болтовых соединений позволяют получить удельные характеристики на смятие по главным осям $R^{сж1}$ и $R^{сж2}$ и определить значение критического натяга U^r для данного материала.

При испытании болтовых соединений с целью определения анизотропии прочностных характеристик также производилось варьирование направлением вырезки образцов, диаметром крепежного отверстия, отношением геометрических параметров отверстия и образца. В результате обобщения экспериментальных данных построены поверхности максимальных напряжений, соответствующих уровню разрушающей нагрузки. Они представляют собой трехмерные диаграммы зависимости номинальных напряжений от угла вырезки образца, а также геометрических и конструктивных параметров соединения. По полученным результатам можно построить диаграмму анизотропии, по которой можно оценить напряженное состояние в образце при промежуточных значениях параметров. По известным геометрическим параметрам пластины и нагрузки P определялась величина номинальных напряжений смятия и значение коэффициента запаса прочности.

Поверхности максимальных напряжений могут позволить решать не только задачу о нахождении коэффициента запаса прочности, но и обратные задачи:

- нахождение допустимых значений напряжений в пластине из КМ в зоне крепежного отверстия по известным коэффициенту запаса прочности, типоразмеру крепежного элемента и моменту предварительной затяжки;

- определение оптимальных параметров материала по уровню и направлению нагружения, параметрам крепежного элемента конструктивным параметрам;
- оптимизация отдельных параметров крепежного элемента по уровню и направлению нагружения соединения;
- оптимизация конструктивных параметров соединения.

**ТЕХНОЛОГИЯ ФРАГМЕНТАРНОЙ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ ШТАМПОВКИ
СРЕДНЕ- И ДЛИННОЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ЛА ДАВЛЕНИЕМ
ЭЛАСТИЧНОЙ МАТРИЦЫ С ПОЛУОТКРЫТОЙ СХЕМОЙ ЗАДЕЛКИ**

*А.П. Шумков, Е.Г. Громова, В.А. Барвинок
(СГАУ им.С.П.Королева)
bogdanovich@ssau.ru*

В номенклатуре современных изделий самолето- и ракетостроения существенная доля приходится на средне- и длиннолистовые детали. В условиях снижения годового выпуска продукции применяемые традиционные технологии изготовления подобных деталей становятся менее эффективными в силу того, что снижается производительность процесса изготовления. Мелкосерийное производство предполагает частую смену деталей. В таких условиях возрастают временные и материальные затраты применения разделительных операций на инструментальных штампах для изготовления среднелистовых деталей. Требуется значительное количество штамповой оснастки и складских помещений. Применение фрезерования для изготовления длиннолистовых деталей является трудоемким процессом, даже с учетом того, что часть номенклатуры деталей возможно изготавливать в пакете. Традиционные методы разделительной штамповки давлением эластичного инструмента с замкнутой схемой заделки ограничены небольшими размерами рабочей поверхности, не более 200...300 мм.

Решение задачи повышения эффективности изготовления средне- и длиннолистовых деталей заключается в применении технологии фрагментарной разделительной штамповки давлением эластичной матрицы с полуоткрытой заделки. Суть метода заключается в пошаговой подаче длинномерной детали в рабочую зону прессы и соответственно пошаговую разделительную штамповку давлением эластичного инструмента с полуоткрытым способом его заделки в силовой обойме.

Для разработки и совершенствования технологии фрагментарной разделительной штамповки была создана комплексная математическая

модель процесса, основанная на методе конечных элементов (МКЭ). Для решения численных уравнений математической модели и последующего анализа результатов моделирования используется ЭВМ.

Результаты математического моделирования позволяют получить поэтапную картину разделения материала заготовки с возможностью определения оптимальных основных конструктивно-технологических параметров процесса, а также с возможностью определения уровня давления и равномерности его распределения в зоне контакта эластичной матрицы и заготовки, определения уровня напряжений и деформаций в эластичной матрице и материале заготовки на каждом этапе процесса. Математическое моделирование позволяет оценивать качество изготавливаемых изделий. Критериями качества являются угол наклона поверхности среза по контуру детали, β , град и отклонение размера детали по вырубному контуру, $\Delta Y/S$. Также критерием эффективности данной технологии является экономический расчет, подтверждающий целесообразность применения технологии.

В опытно-конструкторском и мелкосерийном производстве технология фрагментарной разделительной штамповки давлением эластичной матрицы с полуоткрытой схемой заделки в силовой обойме показывает значительное снижение себестоимости изготовления за счет снижения затрат времени на подготовку производства, повышения производительности процесса, повышения качества контура среза в очаге разделения, понижения числа штамповой оснастки, уменьшения требуемых складских площадей.

Научно-исследовательская работа проводится в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМОВКИ-ВЫТЯЖКИ
ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**

М.С. Джоздани, А.П. Попов, В.Ю. Астапов

(«МАТИ» - РГТУ им. К.Э. Циолковского, СГАУ им. С.П. Королева)

tpla@mail.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 энергоемкость процесса. 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 стенки заготовки к поверхности инструмента.

В данной работе рассматриваются вопросы экспериментального определения перемещения стенки формуемой зоны окантовки под воздействием давления импульсного магнитного поля (ИМП). Для этого был применен стенд с высокоскоростной кинокамерой CORDIN-505, позволяющий с высокой разрешающей способностью регистрировать последовательность перемещения стенки заготовки от момента начала воздействия ИМП до установления окончательных размеров после разгрузки, на компьютере выдается матрица сразу из шестнадцати последовательных кадров, следующих с определенной заданной частотой.

Деформирование осуществлялось плоским многовитковым индуктором, работающим от магнитно-импульсной установки. В стенде предусмотрена синхронизация запуска кинокамеры, разряда магнитно-импульсной установки и регистрирующей аппаратуры. В процессе экспериментальных исследований варьировались параметры давления импульсного магнитного поля, геометрические параметры формы стенки окантовок и характеристики деформируемых материалов.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ДЕТАЛЕЙ

Л.А.Кашуба

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

leonid-ak@mail.ru

Нормативная база представления геометрии изделий в проектной конструкторской и технологической документации, изложена в действующем основополагающем стандарте[1].

Обоснование и применение для формирования моделей представления геометрии в технических приложениях требует адекватного выбора элементов, отображающих номинальные и реальные поверхности и профили их сечений, позволяющих построить математические

модели реальных объемов деталей и сопряжения (сборки) их друг с другом и является актуальной задачей современности.

В представлении понятий терминов номинальной геометрии форма элемента, величина элемента представляется весьма дискуссионными, и пытаться осуществить её в рамках данной работы нецелесообразно. Возникло предложение объединить эти термины (форма и величина - не путать с понятием размер) объединяющим их понятием номинальная геометрия элемента в номинальной системе координат элемента.

Информацию о реальной геометрии можно получить только измерением координат точек реальных элементов в системе координат системы измерения. Это можно осуществить с помощью координатно-измерительных машин (КИМ) как на плоскости, так и в пространстве. Геометрия измеренных элементов отличается от номинальной геометрии.

Отклонение формы реального элемента определяется как отклонение точек реальной геометрии элемента от номинальной геометрии, определяемое по нормали к номинальному элементу в пределах нормируемого участка.

Отклонение расположения реального элемента по отношению к базе определяется по отличию расположения номинальных систем координат номинальных элементов при определении отклонения формы реальных элементов (реального элемента и базы) в системе координат системы измерения от их расположения в исходной системе координат проекта.

Возникает проблема - как с помощью представления номинальной геометрии определить перечисленные отклонения реальной геометрии детали. Для этого нужно определить положение номинальной геометрии каждой поверхности с системой координат в системе координат системы измерения.

В результате проведенного исследования в «облако» точек реальной геометрии вместо прилегающей или средней поверхности [1] методом ортогональной регрессии необходимо вписать поверхность, эквидистантную номинальной поверхности так, чтобы сумма квадратов отклонений точек реальной поверхности от номинальной была минимальной. В этом случае однозначно определится:

– положение системы координат номинальной поверхности в системе координат системы измерения,

- положения номинальных систем координат номинальных поверхностей относительно базы в системе координат системы измерения,
- отклонение точек реальной поверхности от номинальной,
- отклонения номинальных систем координат номинальных поверхностей относительно базы по сравнению с их расположением в системе координат проекта.

Реализация изложенной идеи в виде программного продукта, подлежащего использованию как подсистема САПР недеформируемых конструкций, позволит использовать полученные данные для моделирования погрешностей при изготовлении и взаимозаменяемости при сборке.

Литература

1. ГОСТ 24642-81 «Допуски формы и расположения поверхностей».
2. Тарасов В.А., Кашуба Л.А. Теоретические основы технологии ракетостроения. М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2006. 351 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Л.А.Кашуба, А.А.Волков

(МГТУ им. Н.Э. Баумана, ГКНПЦ им. М.В. Хруничева)

leonid-ak@mail.ru, volkov1811@gmail.com

Основным недостатком проектирования на современном оборудовании с ЧПУ является настройка расчётной точки инструмента на середину поля допуска. При этом не учитывается реальная точность формирования параметра, точность контроля при приёмке готовой продукции, вероятность приёмки продукции, не соответствующей полю допуска (риск заказчика). Из-за настройки на середину поля допуска возможно появление как изделий, соответствующих полю допуска, так и брака (исправимого и неисправимого) Желательно при определении расчётной точки настройки исключить появление неисправимого брака, задолго до завершения обработки партии деталей определить вероятность исправимого брака, включить в разрабатываемую программу обработки подпрограмму исправления брака.

Появившиеся станки с ЧПУ, оснащённые встроенным контролем формируемого параметра (например, фрезерный центр AirOne 220/US

MECOF с системой ЧПУ Sinumerik 840D SIEMENS) предоставляют возможность такого проектирования.

Актуальность темы работы определяется необходимостью определения параметров настройки установки расчётной точки инструмента и границ приёмочного поля допуска для увеличения вероятности приёмки партии продукции, соответствующей заданным вероятностям неисправимого брака и риска заказчика.

Для решения поставленной задачи:

- 1) проведен анализ вероятностной модели погрешности параметров объекта производства в поле допуска, формируемого с некоторой погрешностью, характер распределения которой известен, при однократном контроле этого параметра средством измерения с известной погрешностью, характер распределения которой также известен;
- 2) предложена и разработана методика, обеспечивающая повышение точности параметров объектов производства РКТ в производственном процессе;
- 3) сформулированы предложения по применению разработанного метода при проектировании технологии механической обработки в условиях компьютерно-интегрированного производства;
- 4) разработан принципиально новый технологический процесс изготовления детали, основой которого являются управляющие программы для станка с ЧПУ, обеспечивающие повышение точности параметров объектов производства РКТ.

В качестве объекта исследования выбраны завершающие этапы подготовки производства и изготовления партии из десяти деталей «Панель» на станке с ЧПУ – обеспечение точности размеров, параметров формы, взаимного расположения поверхностей и микрогеометрии деталей при их обработке.

Предметом исследования явились методы обеспечения точности параметров объекта производства при механической обработке и наложенных ограничениях на вероятность недопустимого брака и риск приемки продукции при несоответствии ее параметров полям допусков (вероятность риска заказчика при приемке продукции).

Для решения поставленных в работе задач использовались методы математического моделирования, методы системного анализа и теории вероятностей, численные методы оптимизации, 3D моделирование, а также основные принципы разработки технологических про-

цессов изготовления деталей РКТ и управляющих программ для станков с ЧПУ в соответствии с требованиями стандартов ЕСТД и ЕСКД.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА ЧАСТИЦ С ВЫСОКОЙ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ В ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ**

А.Ф. Пузряков, М.А. Глинский
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
maximagl@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы, связанные с нагревом частиц с высокой теплопроводностью в плазменной струе.

Для решения математической модели нагрева частиц в плазменной струе, приведенной в [1], используются численные методы, усложняющие разработку и оптимизацию технологических режимов напыления.

Проведенные многочисленные экспериментальные исследования, показали возможность упрощения модели, для частиц с высокой теплопроводностью. Установлено, что частицы с высокой теплопроводностью (металлы, сплавы, интерметаллиды) ускоряются и нагреваются на начальном участке струи. При этом, на основном участке струи, скорость и температура частиц меняется незначительно.

Благодаря полученным экспериментальным данным, мы можем, сделать допущение о том, что ускорение и нагрев происходят только на начальном участке струи. При этом уравнение движения и уравнения нагрева частиц с высокой теплопроводностью в струе низкотемпературной плазмы приводятся к упрощенному виду.

В упрощенном виде данные зависимости решаются аналитически. Таким образом, отпадает необходимость в применении численных методов, благодаря чему, расчёты значительно упрощаются. При этом погрешность расчёта не превышает 7-10%, что допустимо для технологического применения.

Проведенная оптимизация математической модели имеет высокую практическую ценность, поскольку большинство материалов, используемых для плазменного напыления, имеют высокую теплопроводность.

Литература

1. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления: Учеб. пособие по курсу «Технология конструкций из металлокомпозигов». 2-е изд., перераб. и доп. – М.: - Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 360 с.: ил. (Технологии ракетно-космического машиностроения)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТЕСНЕННОГО ИЗГИБА ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИУРЕТАНА

Е.Г.Громова, Е.В.Еськина
(СГАУ им.С.П.Королева)
bogdanovich@ssau.ru

Авиа- и ракетостроение всегда были и остаются отраслями самой передовой науки, техники и технологии, где постоянно ведется поиск новых материалов, прогрессивных технологических процессов и наиболее совершенной штамповой оснастки для их реализации.

В связи с повышающимся требованием к конструкциям изделий ракетно-космической техники в частности прочности, жесткости и ресурса значительно возросла потребность в производстве узлов и деталей, изготовленных из листовых материалов. В конструкциях ракетополетителей различных модификаций используется широкая номенклатура гнутых листовых профилей различных геометрических размеров, выполняющих функции силовых и подкрепляющих элементов, элементов автоматики и регулирования расхода топлива, элементов обеспечивающих герметичность разъемных соединений и т.п. Отличительными особенностями этих деталей является разнообразие марок и толщин материала, сложное сочетание геометрических контуров, наличие отверстий и пазов и т.д.

Изготовление таких деталей производится в основном штамповкой с применением сложных и металлоемких инструментальных штампов. Также качество деталей, получаемых гибкой в традиционных штампах, недостаточное.

Устранить существующие недостатки изгибаемых деталей оказалось возможным при изготовлении их методом стесненного изгиба. Известные штампы для стесненного изгиба позволяют получать качественные детали, но для их изготовления требуются две или три операции и соответствующая штамповая оснастка, что существенно усложняет и удорожает процесс. Предлагаемая авторами конструкция штампа для стесненного изгиба, позволяет упростить технологический процесс

и повысить качество изготавливаемой детали. Были проведены теоретические исследования этого процесса. Установлено, что для обеспечения качественного стесненного изгиба с образованием утолщения материала в зоне сопряжения бортов со стенкой при минимальных углах пружинения необходимо, чтобы по всему сечению материала были только сжимающие тангенциальные деформации и напряжения.

Разработана математическая модель процесса стесненного изгиба листовых деталей изделий ракетно-космической техники с учетом воздействия эластичного пуансона. В целях расширения технологических возможностей и повышения эффективности процесса стесненного изгиба листовых деталей летательных аппаратов с использованием полиуретана, на базе разработанной математической модели, предполагается провести исследования происходящих деформационных процессов с учетом контактного взаимодействия эластичного инструмента с листовой заготовкой. Также предполагается провести исследования влияния параметров процесса стесненного изгиба на качество получаемых деталей.

Научно-исследовательская работа проводится в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.
