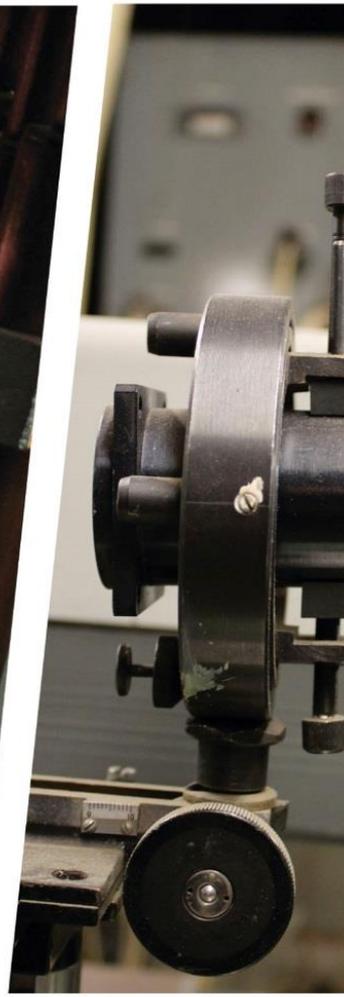


НПО ТЕХНОМАШ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

# ВЕСТНИК «НПО «ТЕХНОМАШ»



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
РОСКОСМОС

Выпуск №2

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ  
ВЕСТНИК «НПО «ТЕХНОМАШ»

Учредитель: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ТЕХНОМАШ»

Генеральный директор: Д. В. Панов  
Первый заместитель генерального директора: И. С. Рубцов  
Заместитель генерального директора по научной работе: А. В. Бараев

*Редакционная коллегия:*

Д.В. Панов  
И.С. Рубцов  
А.В. Бараев  
Х.И. Бичурин  
Е.Ю. Миненко  
Д.А. Муртазин  
В.А. Исаченко  
Ю.П. Астахов  
Ю.М. Должанский  
Т.В. Наумов

*Экспертная комиссия №1:*

А.Н. Михайлов  
К.Г. Данилова

*Выпускающий редактор*

Г.А. Аношкина

*Научный редактор*

В.Г. Бещеков

*Верстка и дизайн*

М.Е. Боброва

На сайте ФГУП «НПО «Техномаш» <http://www.tmnpo.ru> в открытом доступе представлены:  
электронная версия, содержание, аннотации и необходимая информация об авторах

Адрес: 127018, г. Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, дом 40, ФГУП «НПО «Техномаш»  
Телефон: +7 (495) 689-95-04, факс: +7 (495) 689-73-45  
E-mail: [info@tmnpo.ru](mailto:info@tmnpo.ru), web-site: <http://www.tmnpo.ru>

Тираж: не более 999 экз.



## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<i>Панов Д.В.</i> Обращение к читателям.....	5
К 110-летию со дня рождения С.П. Королева.....	6
<i>Панов Д.В., Рубцов И.С., Хмырова А.А.</i> Новые наукоёмкие технологии в технике.....	7
<i>Панов Д.В., Рубцов И.С., Носиков В.Б., Юрцев С.А., Муртазин Д.А.</i> Опыт создания технологий для имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ .....	9
<b>♦ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА</b>	
<i>Вайцехович С.М., Бараев А.В., Кривенко Г.Г., Шишкин Г.Б.</i> Устройство центрирования крупногабаритных объектов в ограниченном пространстве .....	13
<i>Овечкин Л.М., Кривенко Г.Г., Шитиков А.А., Харсеев В.Е., Потапов В.П.</i> Разработка методики математического моделирования процессов штамповки заготовок корпусных деталей ЖРД из жаропрочных сплавов .....	17
<i>Ларичев Н.С., Реутов А.О., Бабурин В.Г., Кривенко Г.Г., Ефимов А.А.</i> Технология математического моделирования литейных процессов .....	19
<i>Вайцехович С.М., Панов Д.В., Кривенко Г.Г., Овечкин Л.М.</i> Новый подход к проблеме резки сортового проката на механических прессах .....	22
<i>Мысливец Е.А., Кривенко Г.Г.</i> Управление структурообразованием и свойствами литых жаропрочных сплавов и высоколегированных сталей волновым резонансно-акустическим воздействием .....	24
<b>♦ ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ И ПАЙКИ</b>	
<i>Бараев А.В., Кулик В.И., Кочергин С.А., Маркин К.Н., Белавин А.И., Бецеков В.Г., Зубачев А.Н., Бочаров Ю.А., Цветков В.С., Хрушкова Е.М.</i> Разработка опытного образца специального технологического оборудования для аддитивного производства методом прямого лазерного выращивания деталей РКТ .....	26
<i>Кулик В.И., Коротков А.Н., Степанов В.В., Любченко В.А., Цветков С.Е.</i> Технология и оборудование для высокотемпературной пайки стальных трубопроводов .....	28
<i>Маркин К.Н., Бецеков В.Г., Бочаров Ю.А., Портных А.И.</i> Исследование способа исключения эрозии материала медного сопла плазматрона в процессах плазменной металлургии .....	30
<b>♦ ТЕХНОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЙ И МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ</b>	
<i>Кологов А.В., Хилков К.В., Мильяченко А.А., Андреев М.Д., Фадин А.С.</i> Технология и оборудование автоматизированного оптического контроля геометрических параметров деталей камеры сгорания.....	32
<i>Соловьев В.Н., Кологов А.В., Барышников В.И.</i> О разработке межотраслевого гелиевого течеискателя и актуализации отечественных технологий течеискания.....	35
<i>Соловьев В.Н., Кологов А.В., Барышников В.И.</i> Аргоновое течеискание сегодня и завтра.....	37
<i>Савинов Ю.И., Рубцов И.С., Должанский Ю.М., Утешев С.И.</i> Виброконтроль и диагностика кинематических систем обрабатывающего станочного оборудования.....	38
<b>♦ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГИРОСКОПОВ И ПРИБОРОВ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ</b>	
<i>Камалдинов А.М., Аксенов Е.Т., Ермолов М.И.</i> Стенд контроля шарикоподшипниковых опор гироскопов по моментным характеристикам.....	41
<b>♦ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>	
<i>Астахов Ю.П., Королев А.Н., Машков В.Н., Щегольсков В.П., Груздев А.А., Митрюшин Е.А.</i> Гибридная установка для упрочнения поверхности деталей из титановых сплавов.....	44

<i>Митрюшин Е.А., Груздев А.А., Королев А.Н., Щегольсков В.П.</i> Электрохимическое осаждение многофункционального композиционного покрытия с ультрадисперсными алмазами .....	45
<i>Астахов Ю.П., Груздев А.А., Королев А.Н., Митрюшин Е.А., Щегольсков В.П., Машикина И.В.</i> Прошивочно-вырезной полуавтомат для электроэрозионной электрохимической вырезки стопорных колец модели ЭП310ПВ.....	46
<i>Астахов Ю.П., Перепечкин А.А., Королев А.Н., Опальницкий А.И.</i> Многокоординатная обработка композиционных и хрупких материалов алмазным инструментом с наложением ультразвуковых колебаний.....	48
<b>✦ КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ</b>	
<i>Долгополов М.И., Корнилов В.А.</i> Применение градиентного нагрева при гибке с узкозональным индукционным нагревом труб изделий РКТ.....	49
<i>Макаров И.И.</i> Измерение геометрии сопловых блоков ЖРД модулем контроля геометрических характеристик крупногабаритных изделий МК-400.....	51
<i>Шемякин С.С.</i> Экспериментальное исследование жесткостных и динамических характеристик токарного станка малых размеров.....	55
<b>✦ ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ И МЕТРОЛОГИЯ</b>	
<i>Поморцев П.М., Устьянцев Е.В., Шломин М.А.</i> Определение приоритетности проверки научно-технического уровня стандартов в области технологии машиностроения.....	58
<b>✦ ЭЛЕКТРОННАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ</b>	
<i>Бараев А.В., Должанский Ю.М., Кулик В.И., Кочергин С.А., Моключенко И.С., Коротков А.Н., Пушкарев А.С., Писаренко А.А.</i> Информационные паспорта на технологии и специальное технологическое оборудование машиностроительного производства РКП.....	59
<b>✦ ОБРАЗОВАНИЕ И ОПЕРЕЖАЮЩАЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ</b>	
<i>Бичурин Х.И., Машиков В.Н.</i> Инновационная система подготовки специалистов и повышения квалификации персонала машиностроительного производства .....	65
<b>✦ КОСМИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА СССР</b>	
<i>Чичварин В.Ф.</i> Пилотируемая лунная программа и её технологическое обеспечение.....	68
<b>✦ ОТРАСЛЕВАЯ НАУКА</b>	
<i>Сабиров Ф.С., Козочкин М.П. (ФБОУ ВО МГТУ «Станкин»)</i> Вибрационный контроль шпиндельных узлов станков в производстве .....	72
<i>Тарасова Т.В., Филатова А.А. (ФБОУ ВО МГТУ «Станкин»)</i> Влияние режимов селективного лазерного плавления и коаксиальной лазерной наплавки на структуру и физико-механические свойства сплавов .....	78
Памятные даты – 2017 .....	82



## ✦ УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Вашему вниманию предлагается второй выпуск научно-технического бюллетеня «Вестник «НПО «Техномаш».

Редакционная коллегия, работая над вторым номером научно-технического бюллетеня, исходила из желания представить коллегам на примере обзорных и оригинальных статей актуальные вопросы разработок и исследований по прикладным научным направлениям, традиционным для нашего предприятия, а также те задачи, которые стали актуальными в последние годы, включая разработку предложений по внедрению новых производственных технологий и импортозамещающего специального технологического оборудования на предприятиях ракетно-космической отрасли.

ФГУП «НПО «Техномаш» работает уже 78 лет и вместе со страной прошло замечательный путь – от зарождения космической эры до проектов освоения Луны и Марса. В этом году отмечаются памятные даты – 70 лет со дня запуска первой межконтинентальной баллистической ракеты, 60 лет со дня запуска первой ракеты-носителя «Р-7» и первого искусственного спутника Земли, 40 лет со дня запуска долговременной орбитальной станции «Салют-6», 30 лет со дня запуска ракеты-носителя «Энергия».

Пожалуй, нет ни одного космического аппарата или ракеты-носителя, в которых не использовались разработки нашего предприятия, над созданием и производством которых не поработали наши замечательные учёные, конструкторы, технологи. Сейчас перед предприятием стоят новые вопросы, мы расширяем свои полномочия в отрасли, получаем новые задачи. У нас созданы новые центры, занимающиеся инновационным технологическим развитием отрасли, стратегическим планированием, инвестиционными проектами.



В российской промышленной среде получает практическую реализацию интерес к теме аддитивных технологий. Результаты инициативной работы предприятий ракетно-космической промышленности в этой области позволяют говорить о переходе от интереса к внедрению, обосновывают необходимость разработки целевой программы развития аддитивных технологий, в том числе и при поддержке государственного заказчика.

Отдельно хочу отметить работу по созданию КБ тяжёлого станкостроения, которое по поручению Правительства России создаётся на базе нашего предприятия. Это уже работа, выходящая за пределы отрасли и направленная на удовлетворение потребности всего российского машиностроения.

Редакционная коллегия надеется, что поставленные вопросы найдут заинтересованных читателей и вызовут продолжение обсуждения поставленных задач на страницах нашего научно-технического бюллетеня.

Генеральный директор,  
кандидат юридических наук

Д.В. Панов



## ✦ К 110-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ С.П.КОРОЛЕВА

Будущий основоположник практической космонавтики, главный конструктор первых советских ракет-носителей и пилотируемых космических кораблей Сергей Павлович Королёв родился 12 января 1907 года.

В СССР лишь очень ограниченный круг лиц знал, что с именем этого человека связаны успехи в отечественной космической отрасли. При жизни С.П. Королёв оставался безымянным главным конструктором или профессором К. Сергеевым. Его имя было раскредитовано только в день его смерти. Он рано ушёл из жизни – 14 января 1966 года, в возрасте 59 лет. Но и за такой срок он сумел многого добиться и многое сделать, оставив после себя богатое наследие, которое позволяет России и в XXI веке занимать ведущие места среди космических держав. Вот лишь некоторые вехи из биографии этого удивительного человека.

Сергей Королёв родился в Житомире в семье учителя Павла Королёва и дочери купца Марии Москаленко. Родители очень быстро расстались и некоторое время он воспитывался в Нежине бабушкой по материнской линии. Удивительно, но один из самых известных учёных и конструкторов XX века получал образование урывками. Связано это было с самыми разными причинами, главным образом с переездами его матери. В школьные годы Королёв никогда не был «ботаником». Он любил спорт, увлечённо работал в мастерских, штудировал физику и математику и при этом мог на руках пройти весь школьный коридор.

Авиационной техникой Королев увлёкся ещё в школьные годы. Ему прочили большое будущее именно в авиастроении, но поглотили его не самолёты. Весной 1929 г. будущий конструктор прочитал книгу Циолковского «Исследования мировых пространств реактивными приборами». Мысль, что совершать полёты можно не только на планерах и самолётах и не только в пределах атмосферы буквально поглотила его.

В сентябре 1933 г. М. Тухачевский издаёт приказ о создании в СССР Реактивного научно-исследовательского института. Королёв получает в нем должность заместителя директора. При этом Тухачевский настоятельно рекомендовал конструктору забыть пока о полётах в космос и сосредоточиться на ракетостроении. Через год после ареста и расстрела Тухачевского в 1937 г. Королёва обвинят во вредительстве и приговорят к 10 годам лагерей. Он отправится отбывать наказание на Колыму, но суровые условия содержания не смогли сломать выдающегося учёного. Говорят, что свою первую радиоуправляемую ракету он рассчитывал прямо на стене барака. В мае 1940 г. его вернули в «Бутырку», состоялось новое следствие, срок снизили до 8 лет. Королёва перенаправили в специальную тюрьму НКВД, где было четыре проектных бюро, которые занимались разработкой новых самолётов.

Великую победу в мае 1945 г. Сергей Королёв встречал в «шарашке» при Казанском авиационном заводе, где в тот момент полным ходом шла разработка ракетных

двигателей. В 1944 г. он был досрочно освобождён из заключения со снятием судимости, но не реабилитирован, освобождение произошло по личному указанию Сталина.

В конце лета 1946 г. Сергей Павлович стал главным конструктором ОКБ-1, где перед ним была поставлена задача – разработать аналог немецкой баллистической ракеты Фау-2. Всего через два года в СССР были проведены испытания баллистической ракеты Р-1, а в 1950 г. она была принята на вооружение.

Характер С.П. Королёва был весьма своеобразным. Незаурядный ум этого человека сочетался с детской неусидчивостью, которая никуда не пропала до самой смерти. Главной чертой, которая и сделала из Королёва отца космонавтики, была мечтательность. Он мечтал о создании лунного поселения, проведении экспедиции на Марс и создания марсианской базы. Мечтал главный конструктор ОКБ-1 и о своём полете в космос, прекрасно понимая при этом, что полететь ему никак не удастся не только из-за его положения и важности для советской науки, но и из-за возраста и состояния здоровья, что не мешало грезить о невесомости и сверкающих в иллюминаторе звёздах.

Королёв был упорным и целеустремлённым человеком, что, безусловно, помогало ему доводить до логического завершения многие проекты. Без этого он никогда бы не стал создателем двухступенчатой межконтинентальной баллистической ракеты Р-7. Именно по его инициативе и под его руководством был осуществлён запуск первого искусственного спутника Земли. Он спроектировал пилотируемый космический корабль «Восток-1», без которого не было бы первого полёта человека в космос. Но наряду с целеустремлённостью, многие знакомые конструктора отмечали его здоровый цинизм и пессимизм, которые сформировались в нем из-за тяжёлой жизни и стали отпечатком его несправедливого тюремного заключения. В то же время Королёв никогда не был озлоблен на жизнь и никогда не жаловался, понимая, что озлобленность вызывает угнетённое состояние, а не творческий порыв, который был необходим в его работе.

Так получилось, что Сергея Павловича обошли сразу две Нобелевских премии, но он сумел стать единственным в истории СССР человеком, который был удостоен звания Героя Социалистического Труда, ещё не будучи реабилитированным. Полная реабилитация конструктора за отсутствием в его действиях состава преступления произошла 18 апреля 1957 года.





УДК 629.78

*Панов Д.В., Рубцов И.С., Хмырова А.А.*

### Новые наукоёмкие технологии в технике

Опыт создания космических аппаратов (КА) и систем подтвердил, что воплощение конструкторских решений и программ непосредственно зависит от возможностей технологии, её уровня и оснащённости.

Проектирование, производство и долговременная эксплуатация многоцелевых космических систем повышенной надёжности закономерно привели к появлению и эффективной реализации принципиально новых конструкторских решений на базе развития материаловедческой и технологической наук.

Наличие гаммы совершенных материалов и высокого уровня технологии расширяет возможности и стимулирует развитие творческой мысли учёных и конструкторов ракетно-космической техники (РКТ).

В связи с этим становится актуальной задача обобщения и систематизации опыта по уникальным наукоёмким технологиям в широком спектре от формообразования до специальных методов контроля и испытаний.

Для её решения, а также для популяризации результатов космической деятельности ежегодно, начиная с 1994 года, под руководством ФГУП «НПО «Техномаш» выходит в свет многотомная энциклопедия «Новые наукоёмкие технологии в технике», статьи которой включают в себя переработанные результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Уже выпущено 37 томов энциклопедии. В настоящее время издание печатается под общей редакцией кандидата юридических наук, академика-секретаря Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского (РАКЦ) Д.В. Панова.

Одним из достоинств этого системного изложения основ ключевых наукоёмких технологий можно отметить тот уникальный труд, который может и должен служить удобным ориентиром при выборе оптимальных конструкторских решений, определении пределов и возможностей совокупного применения новых технологий.

Несмотря на то, что энциклопедия базируется на отечественном опыте создания сложных космических систем (в т.ч. таких как «Энергия», «Буран», «Фотон», «Космос», «Протон», «Ангара» и др.), сведения о новых наукоёмких технологиях представляют несомненный интерес для специалистов всех отраслей.

15 ноября 2016 г. в Сочи на встрече с руководителями оборонно-промышленного комплекса Президент Российской Федерации В.В. Путин поставил перед российскими производителями РКТ сложную практическую задачу массированного освоения международного космического рынка полезной нагрузки. Здесь есть определённая перспектива существенного роста – в разы по сравнению с нынешним положением. Эти амбициозные планы могут быть реализованы только при условии создания и освоения в отечественной ракетно-

космической промышленности (РКП) принципиально новых наукоёмких технологий производства востребованной номенклатуры КА, космических платформ (КП), орбитальных станций и других изделий космической техники, опережающих мировой уровень как с технологической, так и с коммерческой позиции.

Реализация подобных замыслов для вновь создаваемых автоматических космических аппаратов (АКА) различного целевого назначения невозможна без выполнения нескольких условий.

В первую очередь должны быть существенно (в разы) улучшены энергетические показатели и разрешающая способность целевой и служебной аппаратуры. Так, например, необходимо увеличить мощность солнечных батарей и бортовых сетей электропитания в десятки раз, излучаемую мощность активных фазовых антенных решеток (АФАР) бортовых систем связи и ретрансляции – в несколько раз, АФАР бортовых систем радиолокации – в десятки раз.

Во вторую очередь необходим значительный рост (в 2–3 раза) сроков активного существования крупногабаритных базовых несущих конструкций (БНК) перспективных типов АКА и КП.

В третью очередь требуется поэтапное наращивание функциональных возможностей изделий РКТ (в несколько раз) за счёт автоматизированного комплексирования и реконфигурации модульных конструкций.

В четвертую очередь следует обеспечить вторичное использование крупногабаритных элементов БНК, отработавших свои основные функции и ресурс, а также использование крупногабаритных элементов техногенного «космического мусора» для производства и ремонта РКТ в космосе.

Большинство из отмеченных выше требований возможно обеспечить в отечественной РКП за счёт применения новых наукоёмких технологий производства перспективных сверхлёгких крупногабаритных изделий.

Но стоит отметить, что в отрасли слабо развита система взаимодействия и обмена опытом среди предприятий. Последние недостаточно информированы о готовых и эффективных в использовании, а также создаваемых продуктах, т.к. при разработке перспективных изделий РКТ предприятия РКП действуют независимо друг от друга, не заботясь об обмене конечными результатами и опытом организации, что приводит к дублированию работ и распылению средств.

Сегодня в отрасли всё ещё не сложилась целостная инновационно-внедренческая инфраструктура, способная интегрировать новые достижения в области разработки новых наукоёмких технологий во избежание дублирования работ.

Без кардинального решения проблемы повышения эффективности использования результатов труда учёных и специалистов планируемые значительные вложения в развитие отечественной РКП могут не достигнуть тех целей, которые поставлены в ФКПР 2016–2025.

Выпуск технологической энциклопедии, включающей в себя не только базовые и критические технологии, но и перспективные, является значительным шагом в решении этого вопроса.

Целенаправленное и системное применение на практике уникальных космических технологий позволяет придать экономике инновационный характер, усилить действенность рыночных механизмов, в том числе придать им антикризисный характер, повысить качество жизни населения.

На протяжении многолетнего цикла работ по указанной тематике объектом исследования являлись проблемы сохранения уже созданных и создаваемых уникальных наукоёмких технологий.

Энциклопедическое издание «Новые наукоёмкие технологии в технике» разрабатывается и издаётся большим коллективом авторов многих предприятий РКП, среди которых: ФГУП «НПО «Техномаш» – головное технологическое предприятие Госкорпорации «Роскосмос»,

ФГУП ЦНИИмаш – головной институт Госкорпорации «Роскосмос», ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», ОАО «НПК «РЕКОД». К работе над созданием отдельных томов энциклопедии привлекаются и специалисты других отраслей: НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, ОАО «НИКИМТ Атомстрой» и др. Отрадно, что в энциклопедии представлены новые наукоёмкие технологии двойного применения (не только для РКП, но и других отраслей промышленности), что делает её ещё более уникальной.

Важной особенностью издания является общность подходов и принципов, которые охватывают весь цикл работ – от проектирования, изготовления, испытания до эксплуатации и утилизации готового изделия. Другая характерная черта энциклопедии – в форме изложения материала. Все сведения приведены в виде статей, в которых даны результаты научных работ по новым технологиям, реализованным при создании сложных систем различного назначения.

В первых томах представлен весь спектр наукоёмких технологий в алфавитном порядке от проектирования изделия до его эксплуатации. В дальнейших – рассматривается развитие каждого конкретного направления. Структурное построение томов представлено на рис. 1.

### Структурное построение (по предметно-функциональному принципу) энциклопедического издания «Новые наукоёмкие технологии в технике»



Рис. 1 – Структура системного построения основ ключевых наукоёмких технологий



При создании каждого тома используются результаты только вновь разработанных технологий.

За прошедшие двадцать с лишним лет (1994–2016) в энциклопедии накоплен уникальный космический потенциал: в каждом срезе времени (соответственно, и в каждом разрабатываемом томе) собраны в богатейшую коллекцию уникальные разработки новых наукоёмких технологий для каждого периода этого двадцатилетия.

Научными редакторами томов утверждаются выдающиеся специалисты в своих областях, авторы учебников и популярных книг.

В Редакционный совет каждого тома входят учёные, действительные члены (академики) РАКЦ, представители Госкорпорации «Роскосмос» и ведущих организаций отрасли, авторы известных монографий, имеющие огромный опыт работы по редактированию научных текстов.

Первым председателем Редакционного совета (с 1-го по 26-й том) был избран выдающийся учёный-технолог, лауреат пяти Государственных премий СССР и Российской Федерации, Премий Правительства Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, академик РАКЦ Казбек Соломонович Касаев.

Энциклопедическое издание «Новые наукоёмкие технологии в технике» – это уникальный труд, не имеющий

аналогов в мире, где на высоком уровне представлены последние разработки наукоёмких технологий РКТ с обсуждением актуальных проблем и предложениями их решения.

В библиотеках всех ведущих технических вузов страны (Москва, Новосибирск, Санкт-Петербург и др.) есть комплекты энциклопедии – их изучение входит в образовательную программу студентов. В качестве примера можно привести Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет» в Королёве (МГОТУ).

Правительство Российской Федерации в 2016 году высоко оценило многолетний труд учёных и специалистов нашей отрасли, присудив основным соавторам энциклопедии премии Правительства Российской Федерации имени Ю.А. Гагарина в области космической деятельности (распоряжение Правительства Российской Федерации от 6 февраля 2016 г. № 176-р г. Москва) «...за комплекс трудов в области ... научно-технологического наследия космической деятельности России, способствующих вовлечению в культурный, образовательный и научный оборот исторически достоверных общедоступных информационных ресурсов о космонавтике».

**УДК 629.78: 621-047.56:004**

*Панов Д.В., Рубцов И.С., Носиков В.Б., Юрцев С.А., Муртазин Д.А.*

### **Опыт создания технологий для имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ**

Для создания, эксплуатации и модернизации перспективной ракетно-космической техники (РКТ) и инновационного производственного оборудования ракетно-космической промышленности (РКП) необходимы современные инструментальные комплексы системы сквозного автоматизированного проектирования и мониторинга (САПРМ) средств управления, контроля и диагностики космических производственных роботизированных комплексов (КПРК) и другого многофункционального специального технологического оборудования (станков) (СТО) наземного и космического базирования (НКБ) для изготовления перспективных образцов изделий РКТ в наземных и космических условиях. Решение этой задачи возможно путём создания сквозных технологических линий (ТЛ) для автоматизированной разработки, подготовки производства и изготовления аппаратно-программных средств (АПС) имитационного моделирования.

В настоящее время большинство зарубежных заказчиков, разработчиков и потребителей изделий аэрокосмической промышленности широко используют заказные специализированные программно-аппаратные комплексы, необходимые для разработки, производства и эксплуатации альтернативных вариантов вновь создаваемых изделий авиационной и РКТ. В совокупности эти комплексы образуют ТЛ как фирменное средство, предназначенное, в том числе, для поддержки сквозного автоматизированного процесса, включающего проектирование, производ-

ство, эксплуатацию и модернизацию производственного оборудования для изготовления изделий РКТ в крупных фирмах зарубежной аэрокосмической промышленности. Продажа подобных ТЛ конкурирующим фирмам в другие страны практически исключена, так как они являются основой для планирования и реализации собственных инновационных проектов на международном рынке космической, авиационной и другой высокотехнологичной продукции, защищаемой от конкурентов всеми доступными методами.

Поэтому создание собственных фирменных и отраслевых сквозных ТЛ для автоматизированной разработки, подготовки производства и изготовления перспективных изделий РКТ и многофункционального СТО НКБ для российской РКП является актуальной задачей для обеспечения успешного инновационного научно-технологического развития отрасли в целом на ближайшую перспективу в 10–15 лет и дальнейшую перспективу (до 2035–2040 годов), так как соответствует требованиям «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», утверждённой Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 года № 642.

К настоящему времени специалистами ФГУП «НПО «Техномаш» накоплен уникальный опыт по созданию технологий и макета АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ средств управления, контроля и диагностики

многофункционального СТО НКБ. Кроме того, к исследованиям и разработкам были привлечены специалисты головных научно-исследовательских организаций (ГНИО) РКП, имеющие многолетний опыт системного проектирования, проектно-поисковых исследований в области бортовых комплексов управления и бортовой робототехники для современных и перспективных космических аппаратов (КА), долговременных орбитальных станций, межпланетных автоматических зондов и напланетных транспортных и лабораторно-производственных автономных средств космических систем различного целевого назначения таких известных производителей, как ПАО «РКК «Энергия», АО «ИСС», ФГУП «НПО им С.А. Лавочкина», АО «РКЦ «Прогресс», АО «ВПК «НПО машиностроения» и др.



Рис. 1 – Использование опыта создания бортовых комплексов управления автоматических КА для автоматизированной системы управления (АСУ) КППК и другого СТО НКБ

Авторы предполагают, что полученные результаты использования и дальнейшего развития такого опыта позволят в перспективе создать отечественные интеллектуальные ТЛ в РКП для сквозного автоматизированного проектирования, цифрового (и полунатурного) имитационного моделирования, технологической подготовки производства и мониторинга производства СТО НКБ, а также средств управления, контроля и диагностики КППК для многофункциональных технологических КА (ТКА)-демонстраторов и другой перспективной РКТ, конкурентоспособной на международном космическом рынке.

Новыми задачами разработки АПС имитационного моделирования для инструментального комплекса САПРМ средств управления, контроля и диагностики КППК и другого СТО НКБ являются:

- разработка альтернативных вариантов ТЛ для разработки и изготовления АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ средств управления, контроля и диагностики КППК ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ;
- сравнительная оценка машинными методами альтернативных вариантов, выбор и обоснование оптимального варианта ТЛ для разработки и изготовления АПС имитационного моделирования инструментального ком-

плекса САПРМ средств управления, контроля и диагностики КППК многофункциональных ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ;

- разработка в интерактивном режиме основных технических характеристик выбранного варианта ТЛ для разработки и изготовления АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ средств управления, контроля и диагностики КППК многофункциональных ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ;

– проверка машинно-ориентированными методами по отраслевым базам данных (например, вновь создаваемого «Отраслевого банка инновационных идей») на патентную чистоту и конкурентоспособность выбранного варианта ТЛ для разработки и изготовления АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ средств управления, контроля и диагностики КППК многофункциональных ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ;

– автоматизированная разработка машинной версии эскизного проекта на альтернативные варианты ТЛ для разработки и изготовления АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ;

– выбор или (и) разработка машинно-ориентированными методами альтернативных вариантов составных частей ТЛ для разработки и изготовления АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ.

По результатам машинно-ориентированного проектирования были изготовлены макеты функциональных компонентов ТЛ для разработки и изготовления АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ средств управления, контроля и диагностики КППК многофункциональных ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ.

Для автономных испытаний макетов функциональных компонентов ТЛ были разработаны:

- программное обеспечение компонентов ТЛ;
- набор тестовых задач для комплексной отладки ТЛ для разработки и изготовления АПС имитационного моделирования инструментального комплекса системы;
- прикладное программное обеспечение АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ средств управления, контроля и диагностики КППК многофункциональных ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ.



Рис. 2 – Фрагмент инструментальных средств цифрового имитационного моделирования для ТЛ РКП



Методами цифрового имитационного моделирования воспроизведены «сборка» и «комплексная отладка» альтернативных вариантов «виртуальных» ТЛ для разработки и изготовления АПС имитационного моделирования инструментального комплекса.

Разработаны программы и методики для полунатурных (модельных с использованием запланированной части реально изготовленной аппаратуры) испытаний АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ средств управления, контроля и диагностики КПК многофункциональных ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ.

Изготовлен макетный образец комплекса для модельных испытаний ТЛ для разработки и подготовки производства АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ средств управления, контроля и диагностики СТО НКБ.



Рис. 3 – Машинно-ориентированная система интерактивного отображения результатов технологической подготовки производства и проведенных испытаний АСУ СТО (в том числе КПК) для ТЛ РКП

Проведены машинно-ориентированные испытания АПС имитационного моделирования инструментального комплекса применительно к практическим задачам САПРМ средств управления, контроля и диагностики КПК многофункциональных ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ.

Разработаны проекты эксплуатационной документации ТЛ для разработки и технологической подготовки производства АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ модульных средств управления, контроля и диагностики КПК многофункциональных ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ.

Разрабатываемые ТЛ и действующая модель должны обеспечивать разработку и изготовление АПС имитационного моделирования инструментальных комплексов САПРМ для широкого класса станков и технологического оборудования РКП, в том числе и КПК. Результаты применяются для:

– сравнительного анализа адаптивных систем управления станков, в том числе до их фактического создания;

– формирования условий импортозамещения систем сбора, обработки, управления, контроля, диагностики;

– снижения стоимости сервиса и ремонта импортных систем, расширения сферы применения без ограничений, накладываемых зарубежными поставщиками;

– выявления и использования возможностей, режимов и параметров, которые используются в импортном оборудовании, но не объявляются потребителям и не отражаются в поставляемой технической документации;

– выявления и использования возможностей, режимов и параметров, которые фактически реализованы в отечественном оборудовании, но не отражены в поставляемой технической документации;

– комплексной оптимизации и подбора датчиков, процедур сжатия, обработки, передачи данных, средств управления, электронной паспортизации при учёте ограничений на заданные метрологические характеристики получаемых результатов;

– информационной поддержки жизненного цикла адаптивных систем, станков и другого СТО, использующихся на предприятиях РКП, авиационной и других высокотехнологичных отраслей промышленности.

В состав ТЛ для разработки и изготовления АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ средств управления, контроля и диагностики КПК многофункциональных ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ должны быть включены:

- комплекс АПС для имитационного моделирования сети датчиковой аппаратуры и подсистем сбора и предварительной обработки сенсорной информации системы управления, контроля и диагностики КПК многофункциональных ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ;

- комплекс АПС для моделирования типовой адаптивной системы на базе реконфигурируемой платформы как составной части инструментального комплекса системы сквозного автоматизированного проектирования средств управления, контроля, диагностики КПК многофункциональных ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ;

- аппаратура функциональной поддержки процессов сквозного автоматизированного проектирования и экспериментальной отработки конструктивно-технологических решений со встроенной системой визуализации результатов проектирования и технологической подготовки производства;

- комплект АРМ для управления процессом разработки и изготовления АПС имитационного моделирования инструментального комплекса САПРМ средств управления, контроля и диагностики КПК многофункциональных ТКА-демонстраторов и другого СТО НКБ;

- узел обмена данными по сети Ethernet между ПЭВМ и аппаратными средствами комплекса моделирования;

- интерактивное руководство по применению ТЛ для разработки и изготовления АПС имитационного моделирования;

- интерфейсные средства сопряжения ПЭВМ с аппаратными средствами комплекса моделирования.

Разрабатываемые ТЛ предназначены для разработки и изготовления АПС имитационного моделирования в целях проведения виртуальных (вычислительно-алгоритмических) и полунатурных экспериментов с адаптивными системами для широкого класса станков или иного СТО РКП.



Рис. 4 – Фрагмент макета инструментального комплекса сквозного автоматизированного проектирования альтернативных вариантов АСУ КПКР и другого СТО для РКП

Результаты моделирования могут использоваться для:

- сравнительного анализа адаптивных систем управления для станков до их фактического создания;
- контроля состояния адаптивной системы в процессе эксплуатации;
- прогнозирования эффективности и модернизации действующих адаптивных систем;
- формирования базы данных (и знаний) по результатам использования адаптивных систем.

Высокие требования по надёжности аппаратных средств комплекса моделирования обеспечиваются путём функционального дублирования программными средствами. Поэтому при разработке и изготовлении макета использовались сертифицированные функциональные компоненты: ПЭВМ, средства отображения и архивирования, реконфигурируемая платформа, включающая аппаратные средства комплекса моделирования. Кроме того, разрабатываемое прикладное ПО обеспечивало вос-

становление процесса функционирования после сбоя.

В макете инструментального комплекса предусмотрены следующие автоматизированные режимы и процессы:

- интерактивный режим ввода исходных данных о контролируемом объекте, условиях работы, числе, типе и параметрах датчиков, требованиях к сбору, обработке данных, контролю и диагностике;
- визуализация функционально-структурного облика адаптивной системы управления;
- моделирование работы адаптивной системы и отдельных типов унифицированных электронных модулей (УЭМ) в её составе;
- моделирование сбоев, отказов датчиков, УЭМ адаптивной системы и средств связи (сопряжения) между УЭМ;
- визуализация статистических результатов моделирования.

Кроме того, использованы следующие дополнительные инструментальные средства аппаратно-программной поддержки автоматизированных экспериментальных исследований, проводимых методами имитационного моделирования:

- средства анализа корреляционных зависимостей;
- средства имитации и выявления нештатных ситуаций в СТО НКБ на модельном уровне;
- средства архивирования результатов формирования и исследования моделей в базе данных (знаний) с ассоциативным поиском.

Как показали проведённые лабораторные испытания построенного функционального макета, основные технические параметры разработки соответствуют мировому уровню и превышают отечественный уровень в части возможностей функционального моделирования, в масштабе времени близком к реальному, различных адаптивных свойств вновь создаваемых систем сбора, управления, контроля и диагностики с магистрально-модульной архитектурой.

Результаты данных работ являются первым шагом в создании инновационного научно-технологического задела, обеспечивающего создание высокоэффективной отраслевой системы технологического развития РКП, позволяющей изготавливать перспективные образцы изделий РКТ, а также СТО НКБ, конкурентоспособных на международном космическом рынке на перспективу до 2040 г.

## ◆ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.983.044.3.004

*Вайцехович С.М., Бараев А.В., Кривенко Г.Г., Шишкин Г.Б.*

### Устройство центрирования крупногабаритных объектов в ограниченном пространстве

Пневмотермическая формовка полусфер титановых шаробаллонов (ПТШБ) из листовых полуфабрикатов в условиях сверхпластичности – одна из перспективных технологий получения полых тонкостенных изделий.

В середине 80-х годов XX века впервые была изготовлена вакуумная установка сверхпластического деформирования и диффузионного сращивания – установка СДДС (рис. 1а, б)

Вакуумная установка СДДС состоит из осесимметричной вакуумной камеры, разделённой на две половины – верхнюю 1 и нижнюю 2 (рис. 1а). Верхняя половина 1 имеет возможность смещаться в горизонтальном направлении в сторону от вертикальной оси установки. Через верхнее основание верхней половины вакуумной камеры проходит шток силового гидроцилиндра, на который устанавливается верхняя половина штампа; нижняя половина штампа устанавливается в нижнюю половину вакуумной камеры на рабочий стол – опорную стойку 3; вокруг стола расположены электронагреватели 4 (рис. 1б).

Известно, что решение задачи повышения качества ПТШБ заключается в создании условий раздельного охлаждения отформованного полуфабриката ПТШБ и штамповой оснастки.

Для раздельного охлаждения была разработана оснастка, позволяющая проводить в режиме действующего вакуума разделение верхней и нижней половин штамповой оснастки внутри камеры. Для этого на верхней половине штамповой оснастки размещены рычаги, выполняющие роль захватов для удаления из

нижней половины отформованной детали при подъёме штока силового гидроцилиндра.

Одна из основных трудностей в реализации новой технологии заключается в необходимости центрирования штока силового гидроцилиндра, расположенного в верхней вакуумной камере, относительно опорной стойки нижней вакуумной камеры, так как по первоначальной технологии опорная стойка не закреплялась на полу нижней вакуумной камеры и не выставлялась осесимметрично относительно штока силового гидроцилиндра. Опорная стойка выполняла роль подпорки, удерживающей штамповую оснастку на заданной высоте от пола вакуумной камеры.

Для центрирования штока силового гидроцилиндра и опорной стойки было разработано устройство центрирования крупногабаритных составных частей сборно-разборных механизмов (рис. 2а, б). Устройство позволило в ограниченном замкнутом пространстве вакуумной установки произвести центрирование штока силового гидроцилиндра, на котором в дальнейшем будет размещена верхняя половина штампа, относительно опорной стойки с размещением на ней нижней половины штампа (рис. 3а, б, в, г).

Устройство центрирования крупногабаритных объектов в ограниченном пространстве содержит раму 1, центратор 2 и компенсатор 3, имеющий возможность кинематической связи с ним (рис. 1).

Рама 1 (рис. 2а, б) представляет собой объёмный сборно-сварной каркас, на котором размещены опорные ролики 4 приводов 5, связываемых гибкими элементами (тросами) 6 с центратором 2 и компенсатором 3.

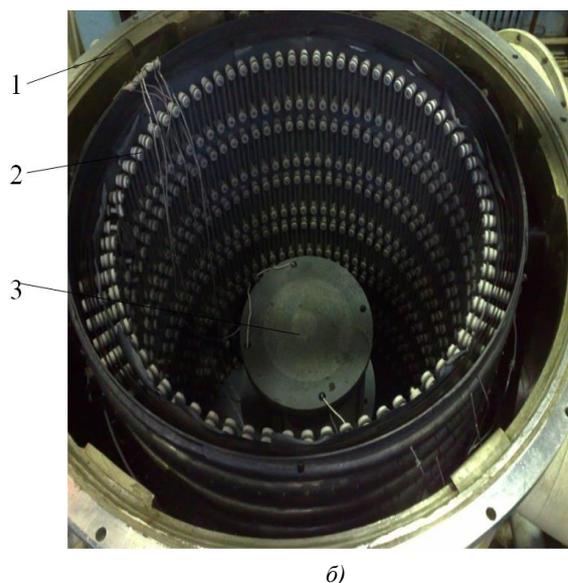
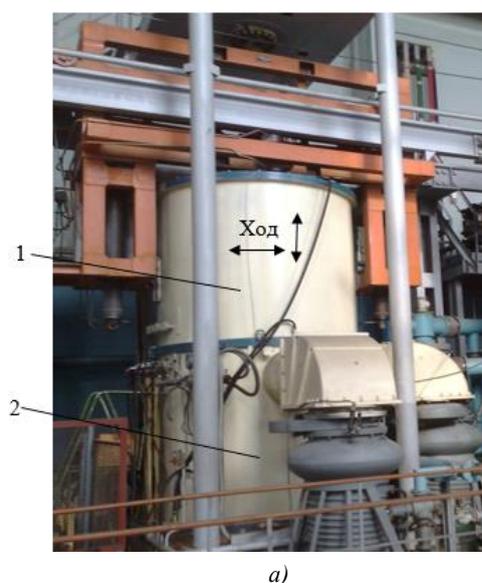


Рис. 1 – Установка СДДС:

а) внешний вид вакуумной установки; б) нижняя вакуумная камера установки

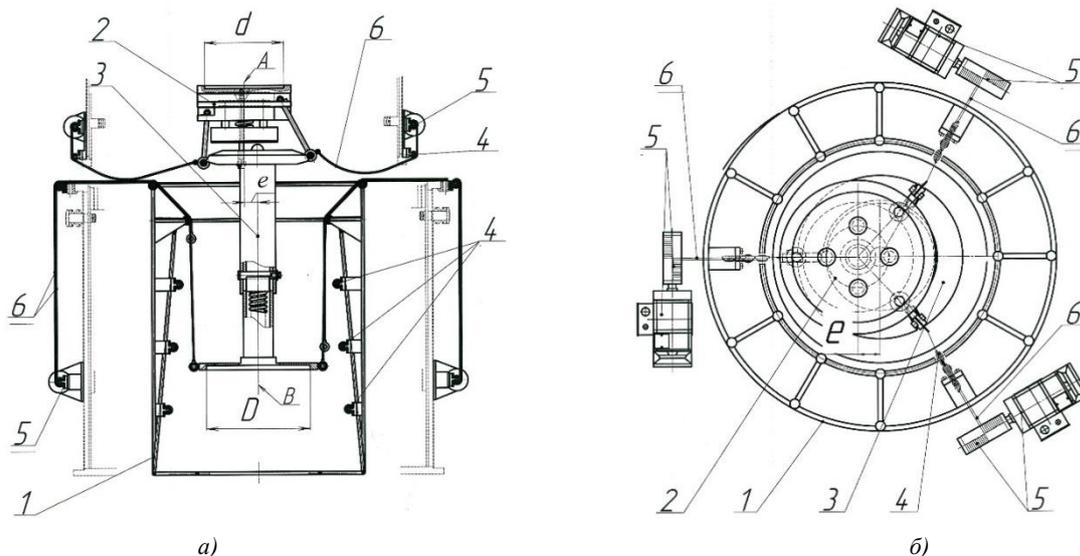


Рис. 2 – Схема устройства центрирования крупногабаритных составных частей сборно-разборных механизмов:  
а) вид спереди; б) вид сверху

Центратор 2 (верхний центрирующий элемент – рис. 2а) включает в себя: шаблон 7, внешнюю плиту (верхний центрируемый элемент) 8, имеющую жёсткое соединение с возможностью последующего разъёма с верхним объектом центрирования; нижнюю промежуточную плиту 9; среднюю промежуточную плиту 10 и верхнюю промежуточную плиту 11, способные вращаться вокруг общей оси центратора  $A$ ; направляющие колонки 12; упругий элемент 13. Нижние концы тяг 14, 15 и 16 выполнены с утолщением. К ним прикреплены тросы 6, которыми каждая тяга соединена через опорные ролики 4 с соответствующим приводом 5, предназначенным для поворота тяг в вертикальной плоскости путём намотки тросов 6 на барабаны приводов 5 (рис. 1б).

Компенсатор 3 (нижний центрирующий элемент – рис. 2а) содержит: шаблон 17 и скреплённую с ним стойку, состоящую из труб – наружной 18 и внутренней 19, входящих одна в другую по типу «труба в трубе». Трубы 18 и 19 могут перемещаться в вертикальном направлении относительно друг друга вдоль общей оси  $B$ , а также подпружинены относительно друг друга упругим элементом 20. Величина относительного хода труб 18 и 19 составляет  $\Delta_2$  (рис. 3а). В шаблоне 17 по его периферии выполнены сквозные пазы (позицией не обозначены) количеством равным количеству тяг. Ширина сквозных пазов шаблона 17 при этом несколько больше размеров средней части тяг, размещающихся в них, но несколько меньше размера утолщений нижней части тяг, ровно настолько, чтобы обеспечить силовое замыкание со стороны тяг, когда происходит натяжение тросов 6.

Нижняя промежуточная плита 9, средняя промежуточная плита 10 и верхняя промежуточная плита 11 центратора 2 имеют возможность отдельно друг от друга осуществлять поворот вокруг общей оси  $A$ , за счёт рычага, образованного средней частью тяг, размещённых в пазах компенсатора 3, от действия сил натяжения тросов 6, что позволяет проводить последовательную установку тяг 14,

15 и 16 в пазы шаблона 17. Тяги 14, 15 и 16 имеют возможность совместного поворота относительно вертикальной оси  $A$  центратора.

В наружной трубе 18 закреплена ось 21 (рис. 3а), а в стенке внутренней трубы 19 выполнен продольный паз шириной, равной диаметру оси 21, и высотой, равной величине заданного хода  $\Delta_2$ ; между осью и пружиной расположен вкладыш 22, одна сторона которого контактирует с осью 21 и выполнена по её форме, а противоположная – контактирует с упругим элементом 20.

К внутренней трубе 19 присоединена вставка 23 (нижний центрируемый элемент), которая тросом 6 соединена с приводом 5 через рым-болты 24.

Нижний центрируемый элемент 23 имеет возможность жёсткого соединения с разъёмом нижнего объекта центрирования, например, по диаметру  $D$ .

Расстояние между осью  $A$  центратора 2 и осью  $B$  компенсатора 2 составляет эксцентриситет  $e$  (рис. 2а, 3а).

Шаблон 7 центратора 2 имеет возможность упругого контакта с шаблоном 17 компенсатора 3 и скольжения по его поверхности, что обеспечивает центрирование их между собой. Их сопрягаемые поверхности могут быть выполнены различным образом (например, в виде вогнутой и выпуклой полусфер или полостей и контактирующих с ними выступов различной формы и размеров).

Вакуумная камера установки СДДС состоит из двух половин – верхней 25 и нижней 26, которые при работе установки СДДС находятся в сомкнутом положении, обеспечивая вакуум до остаточного давления  $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. Стенки половин 25 и 26 вакуумной камеры сцентрированы по внутреннему размеру и всегда смыкаются и размыкаются в заданном, строго определённом положении.

Шток 28 по отношению к боковой стенке верхней половины вакуумной камеры жёстко закреплён, но не сцентрирован с ней и, являясь телескопическим, имеет возможность опускаться и подниматься, осуществляя при этом прижим верхней 29 половины штампа к его нижней половине 30 и их замыкание.

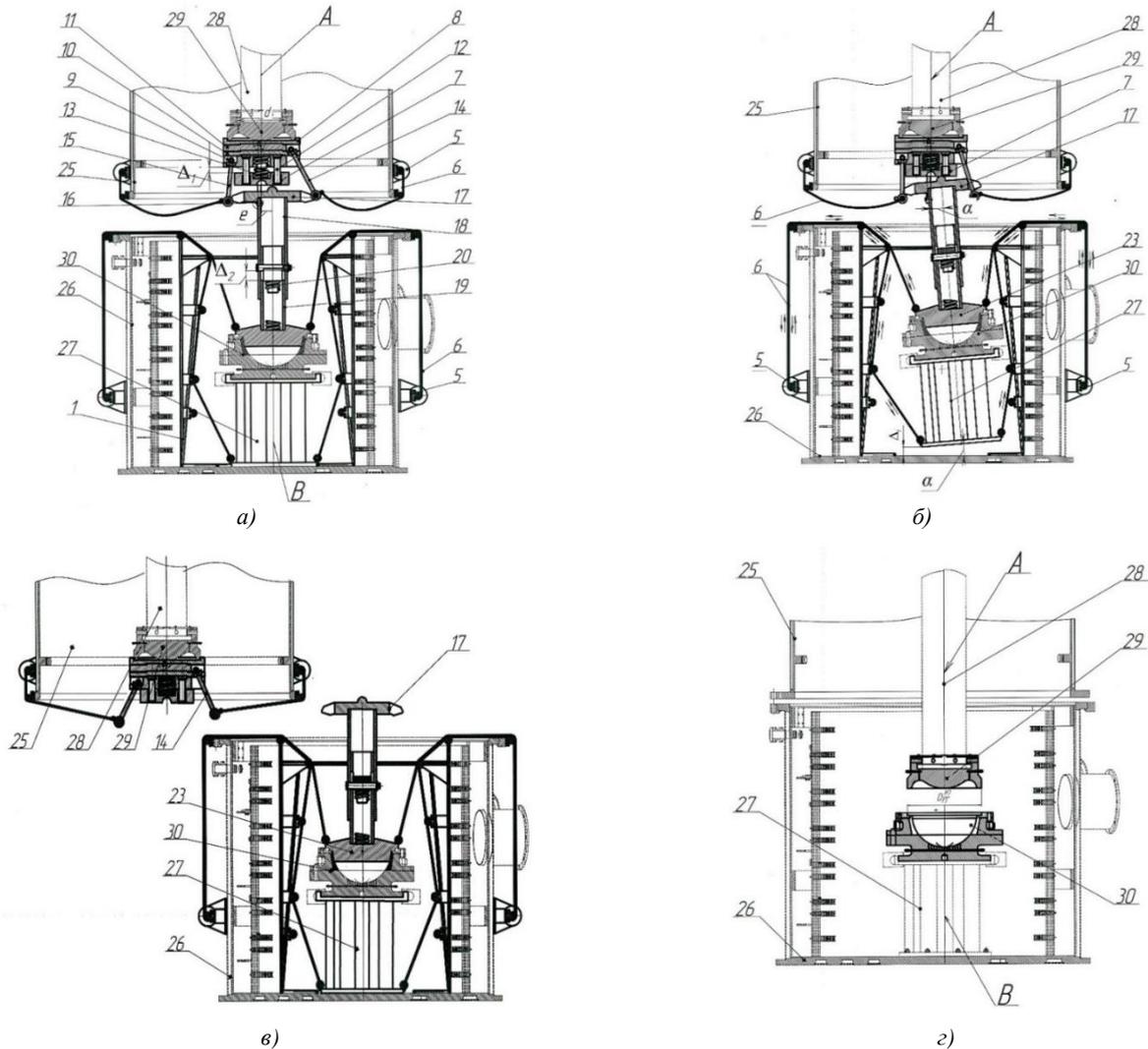


Рис. 3 – Схема расположения устройства центрирования в установке СДДС:

- а) исходное положение; б) момент подъема стойки до контакта центризатора с компенсатором и манипулирование тросами с одновременным поддержанием связи между центрируемыми поверхностями; в) схема расположения верхней и нижней половин штампа при удалении центризатора (верхняя половина вакуумной камеры СДДС отведена; г) схема расположения отцентрированных верхней и нижней половин штамповой оснастки на установке СДДС

Стойка 27 центрируется по штоку 28 один раз, после чего закрепляется на дне нижней половины 26 вакуумной камеры.

Для центрирования верхней 29 и нижней 30 половин штампа установки СДДС, состоящей из верхней подвижной части 25, нижней стационарной части 26, стойки 27 и силового штока 28 (рис. 3а, б, в, г), устанавливают центрирующее устройство в следующей последовательности:

- верхнюю половину 25 вакуумной камеры отводят в сторону от нижней половины 26;
- приводы 5 и опорные ролики 4 устанавливают на внешней стороне вакуумной камеры как на нижней 26, так и на верхней 25 половинах; верхними тросами 6 соединяют тяги 14, 15 и 16 центризатора 2 с приводами 5, расположенными на верхней половине 25 вакуумной камеры, а нижними тросами 6 соединяют вставку 23 компенсатора 3 с нижней половиной 26 вакуумной камеры;

- в нижнюю половину 26 вакуумной камеры свободно устанавливают стойку 27;

- на стойку 27 укладывают и крепят нижнюю половину 30 штампа;

- к штоку 28 верхней половины 25 вакуумной камеры прикрепляют верхнюю половину 29 штампа;

- на пол нижней половины 26 вакуумной камеры устанавливают раму 1 так, чтобы стойка 27, с закреплённой на ней нижней половиной 30 штампа, располагалась внутри основания рамы 1;

- нижнюю половину 30 штампа соединяют с вставкой 23 компенсатора 3;

- верхнюю половину 29 штампа соединяют с внешней плитой 8 центризатора 2;

- верхнюю половину 25 вакуумной камеры подводят к нижней половине 26 в положение до их смыкания (рис. 3), после чего включают в работу устройство для центрирования верхней 29 и нижней 30 половин штампа.

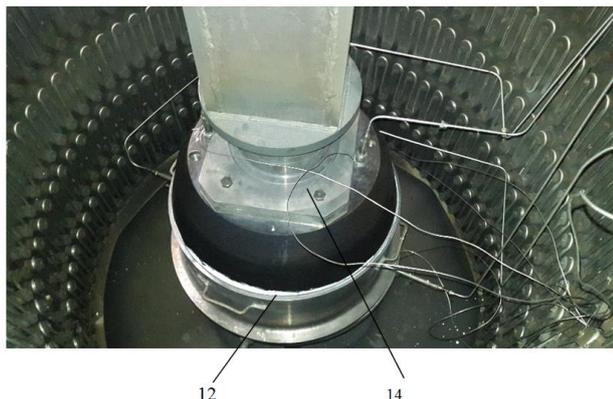


Рис. 4 – Момент монтажа штамповой оснастки на отцентрированные установочные элементы вакуумной установки. Внешний вид установки СДДС (вид сверху)

Ниже приведён подробный процесс поэтапного центрирования объектов.

**Этап 1** (рис. 3а, б):

– шток силового гидроцилиндра 28 опускают до смыкания шаблона 7 центратора 2 с шаблоном 17 компенсатора 3, при этом упругий элемент 13 сжимается на величину  $\Delta_1$  до контакта нижней подвижной плиты (обратная сторона шаблона) с нижней промежуточной плитой 9, гарантировав силовой натяг между ними.

Затем посредством приводов 5 гибкими тросами 6 поднимают стойку 27 на величину  $\Delta_2$  до контакта нижней стенки паза внутренней трубы 19, нижнего центрирующего элемента компенсатора с осью 21.

Вследствие проделанных манипуляций стойка 27 отрывается от пола нижней половины установки СДДС на высоту  $\Delta_3$ , достаточную для последующих поворотов стойки на заданные углы  $\alpha$  относительно вертикальной оси  $A$  устройства центрирования;

– стойку 27 позиционируют относительно штока 28, для чего, например, правый и левый приводы 5 реверсируют до совмещения выпуклой части шаблона 17 компенсатора 3 с вогнутой частью шаблона 7 центратора 2, ослабевающая или усиливая контакт взаимодействующих поверхностей шаблонов 7 и 17. По мере уменьшения эксцентриситета  $e$  промежуточные плиты 9, 10 и 11 поворачивают вокруг оси  $A$  до совмещения пазов шаблона 17 и тягами 14, 15 и 16 компенсатора 3 относительно опорных роликов 4, расположенными на верхней подвижной части 25 установки СДДС;

– подтягиванием левого троса 6 приводят стойку 27 в вертикальное положение, одновременно отпуская правый трос 6 таким образом, чтобы сохранялся контакт между центрируемыми поверхностями центратора 2 и компенсатора 3. Стойка 27 висит на тросах 6 в вертикальном положении. Тяги 14, 15 и 16 находятся в пазах шаблона 17 компенсатора 3.

**Этап 2** (рис. 3в):

– объекты отцентрированы, шток 30 силового гидроцилиндра и стойка 27 выставлены по вертикальной оси (смещение  $e$  равно нулю), стойка находится в подвешенном состоянии, тросы плотно прижимают центрирующие рабочие поверхности друг к другу.

Затем привод ослабляет натяг, перемещает тросы в сторону опускания стойки, при этом шток 28 оставляют на месте, и стойка 27 с нижней 30 половиной штампа вывешивается на тягах 14, 15 и 16 на шаблоне 17. Вывешивание стойки со штампом в свободном положении способствует снятию с конструкции остаточных напряжений;

– шток 28 опускают до контакта стойки 27 с полом нижней части вакуумной камеры 26. Дальнейшее опускание штока 28 приводит к смыканию центратора 2 с компенсатором 3, зазоры  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  уменьшаются, тяги 14, 15 и 16 освобождаются от контакта с пазами шаблона 17, что позволяет верхними тросами 6 отвести тяги 14, 15 и 16 в сторону и удалить их из пазов шаблона 17. После чего шток 28 поднимают вверх, освобождая компенсатор 3 от контакта с центратором 2;

– после разъединения центратора 2 с компенсатором 3 верхнюю часть 25 вакуумной камеры отводят в горизонтальном направлении в сторону от нижней части 26 вакуумной камеры. Механическую связь между нижней половиной штампа 28 и нижним центрируемым элементом 23 компенсатора 3 разъединяют и из нижней половины штампа 30 удаляют нижний центрируемый элемент 23. Затем закрепляют стойку 27 на полу нижней части вакуумной камеры. Снимают с верхней 29 половины штампа верхний центрируемый элемент центратора 2. Извлекают центратор из вакуумной камеры установки СДДС. Снимают с верхней половины 29 штампа центратор 2, а с нижней половины штампа 30 – компенсатор 3.

**Этап № 3** (рис. 3г):

– рабочие поверхности штампа освобождены от устройства центрирования, ввиду чего образуется свободный доступ внутрь нижней половины 26 вакуумной камеры. На нижнюю половину штампа укладывают заготовку;

– верхнюю часть 25 вакуумной камеры перемещают в рабочее положение. Верхняя половина 29 и нижняя половина 30 штампа отцентрированы относительно друг друга. Шток 30 опускают и прижимают заготовку (на рис. 3г не показана) к нижней половине 28 штампа. Заготовка зажата в штампе между половинами – нижней 30 и верхней 29. Штамповая оснастка готова к работе. Вакуумируют рабочую полость штампа, нагревают заготовку и осуществляют ее формообразование посредством нагнетаемой в полость штампа газовой среды.

Использование данного устройства в составе установки СДДС позволит существенно сократить трудоёмкость и временные затраты на подготовку к выполнению технологического процесса газовой формовки, а также обеспечить равномерное распределение нагрузки во время внешней фиксации штамповой оснастки при формообразовании посредством точного центрирования и взаимного позиционирования штока силового гидроцилиндра и опорной стойки установки.

**Вывод:** предложено оригинальное устройство для центрирования двух половин штампа в ограниченном пространстве установки СДДС.



УДК 621.73.01

*Овечкин Л.М., Кривенко Г.Г., Шитиков А.А., Харсеев В.Е., Потапов В.П.*

### Разработка методики математического моделирования процесса штамповки заготовок корпусных деталей ЖРД из жаропрочных сплавов

На современном уровне развития ракетно-космической промышленности актуальной задачей является проведение предпроектных исследований, направленных на оптимизацию технологических процессов изготовления заготовок высоконагруженных корпусных деталей ЖРД из жаропрочных сплавов, методами обработки металлов давлением.

Принимая во внимание значительную металлоёмкость и габариты, а также стоимость технологической оснастки, изготавливаемой из дорогостоящей штамповой стали для получения заготовок корпусных деталей ЖРД, важным моментом является ее создание на высоком технологическом уровне без последующей дорогостоящей доработки или доводки.

Для этого специалистами отделения технологии заготовительного производства ФГУП «НПО «Техномаш» разработана методика и проведено математическое моделирование процесса молотовой штамповки для получения заготовок корпусных деталей ЖРД из жаропрочного сплава ЭП-666ВД в программном комплексе DEFORM с учётом параметров реологической модели используемого металла.

Реологическая модель жаропрочного сплава ЭП666-ВД для оценки эволюции микроструктуры в процессе штамповки создана специалистами НИТУ «МИСиС» на основании проведения специализированных исследований и испытаний при получении экспериментальных кривых упрочнения металла. Это позволило сформировать необходимые зависимости для описания процессов динамической, метадинамической и статической рекристаллизации, а также роста зерна, происходящих при деформировании заготовки.

В рамках проводимой работы по изготовлению качественной заготовки корпусной детали ЖРД с оформленной полостью из жаропрочного сплава ЭП666-ВД предъявлялись требования по достижению плотной однородной макроструктуры и микроструктуры с баллом зерна 4–5. Принимая во внимание значительные массово-габаритные характеристики заготовок, и, соответственно, их высокую стоимость, необходимым условием является получение качественных паковок с достижением уровня требуемых свойств.

Для получения заготовки корпусной детали с углублённой полостью разработаны технологические переходы штамповки с учётом технических характеристик деформирующего оборудования в обеспечении требуемого формоизменения с сохранением ресурса пластичности металла заготовки и исключением возможности трещинообразования. На основании данных, полученных по результатам компьютерного моделирования, стало целесообразным использование трёх переходов молотовой штамповки:

- предварительная штамповка для уменьшения высоты исходной цилиндрической заготовки с формированием центрирующего элемента;
- предварительная штамповка для начала процесса формирования внутренней полости и дальнейшего увеличения диаметральных размеров;
- окончательная штамповка для завершения формирования внутренней полости и требуемых диаметральных и высотных размеров.

После первого перехода штамповки, картина распределения накопленных деформаций, необходимая для оценки равномерности проработки структуры заготовки и среднего размера зерна, представлена на рис. 1.

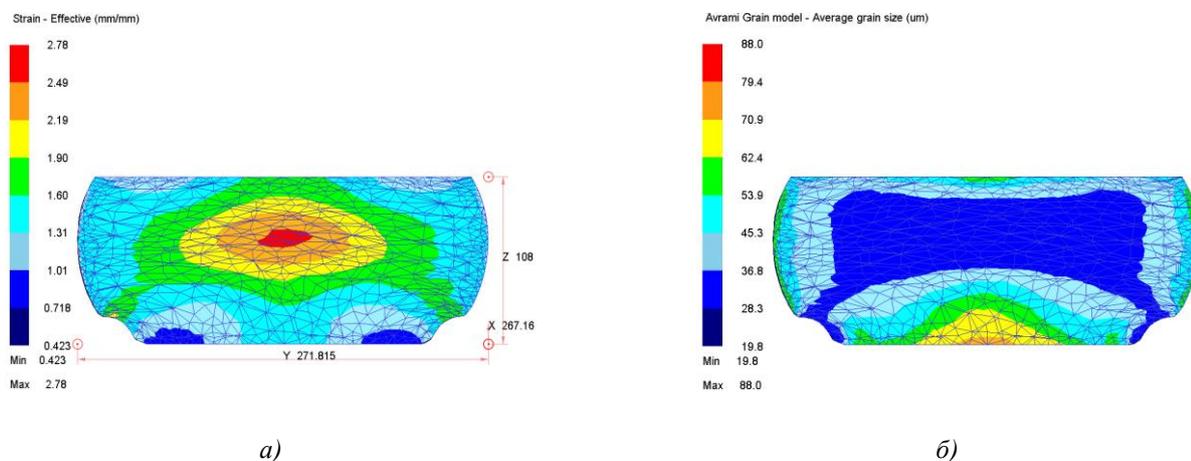


Рис. 1 – Результаты компьютерного моделирования первого перехода штамповки: а) распределение накопленных деформаций по сечению заготовки; б) средний размер зерна по сечению заготовки

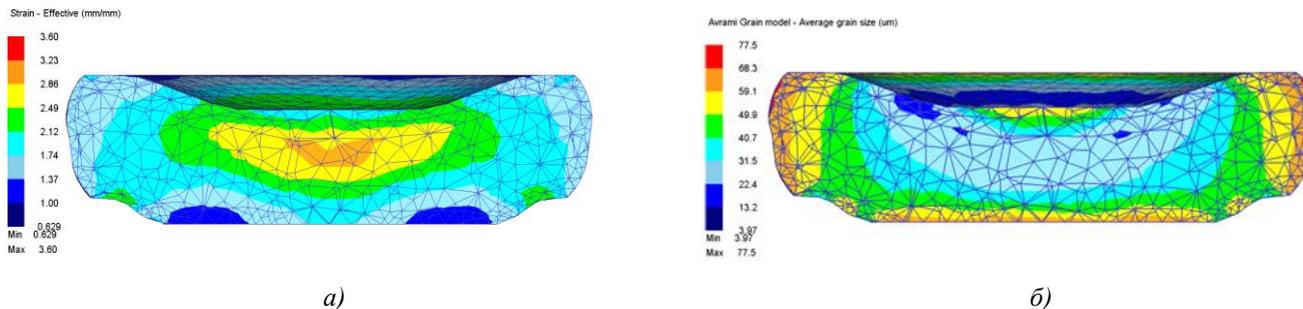


Рис. 2 – Результаты компьютерного моделирования второго перехода штамповки:

а) распределение накопленных деформаций по сечению заготовки; б) средний размер зерна по сечению заготовки

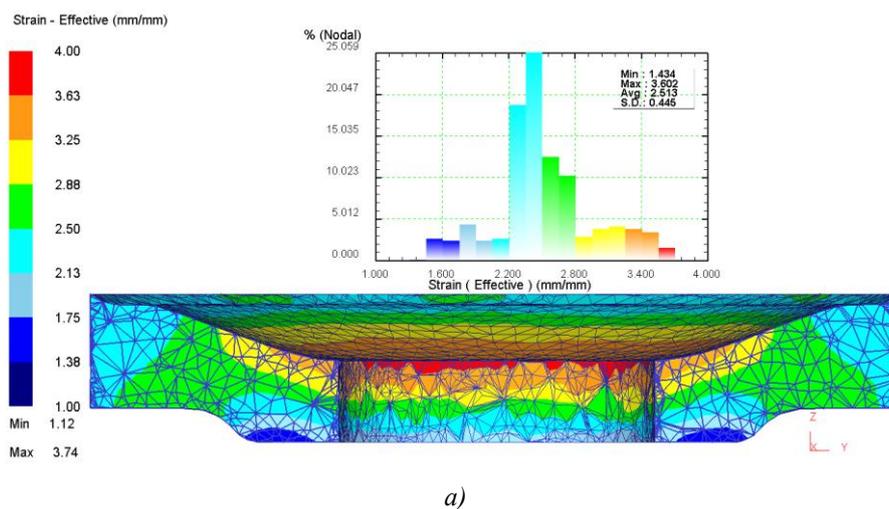
Отмечается начало процесса проработки структуры заготовки и измельчение зерна на значительной площади поперечного сечения заготовки.

После второго перехода штамповки происходит дальнейшее накопление деформаций и уменьшение среднего размера зерна, согласно рис. 2.

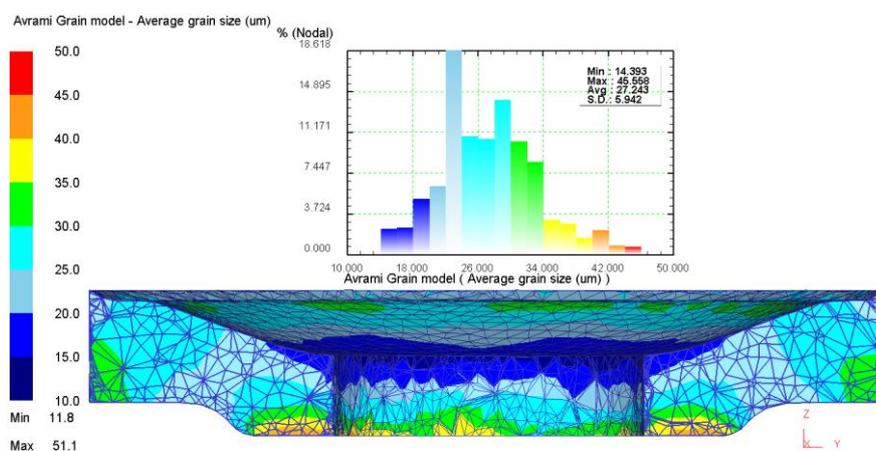
Отмечается дальнейшее структурирование металла

заготовки за счёт проводимой деформационной обработки. Происходит повышение однородности микроструктуры, а также снижение величины зерна.

Третий переход штамповки позволяет получить требуемую заготовку корпусной детали с необходимым уровнем проработки и размером зерна микроструктуры (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3 – Результаты компьютерного моделирования второго перехода штамповки:

а) распределение накопленных деформаций по сечению заготовки; б) средний размер зерна по сечению заготовки

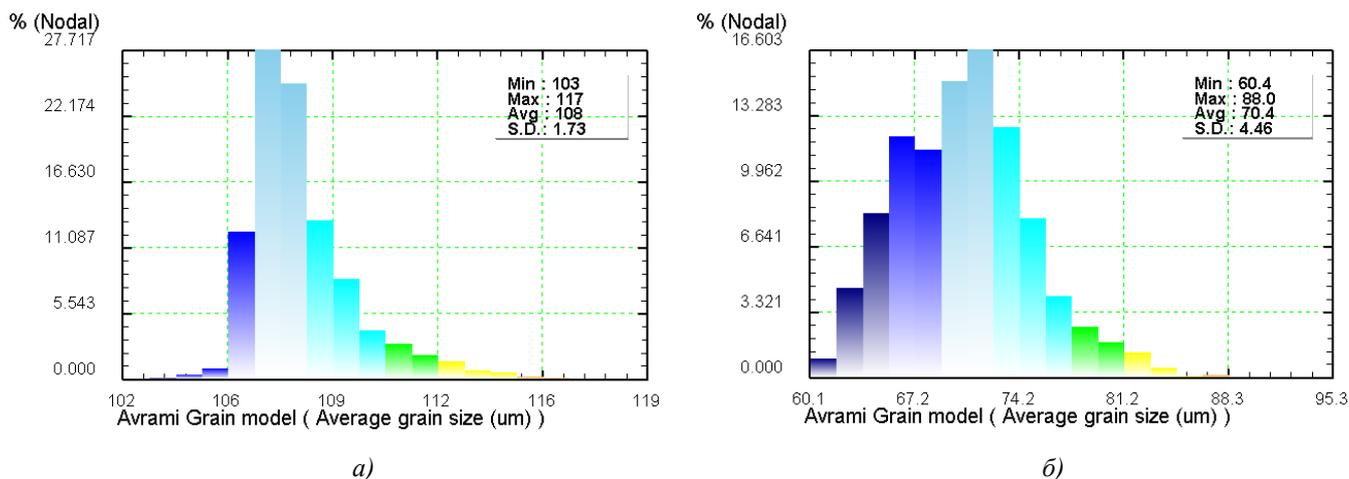


Рис. 4 – Распределение среднего размера зерна в объёме заготовки после подогрева:  
а) при нагреве по рекомендуемым данным; б) по разработанному режиму нагрева на основании результатов моделирования

По результатам моделирования выявлено дальнейшее накопление деформаций и повышение однородности их распределения. Также отмечается однородность размера элементов микроструктуры по сечению, что, учитывая вышеизложенное, прогнозирует достижение однородности свойств получаемой штамповки-заготовки.

Разработан режим нагрева заготовок, который позволяет исключить излишний рост зёрен. В соответствии с требованиями по получению микроструктуры с необходимыми характеристиками и для уменьшения роста зерна предлагается снизить время подогрева, учитывая незначительный разброс температур в заготовке.

На втором переходе штамповки для сохранения запаса времени на замену штамповой оснастки необходимо предварительно охладить заготовки на воздухе в течение 15 минут, а подогрев производить только в течение 32 минут. Распределение среднего размера зерна в объёме заготовки после различных режимов подогрева приведено на рис. 4.

В результате разработанного режима нагрева с предварительным охлаждением на воздухе максимальный размер зерна снижается на 25%, средний на 35%, а минимальный на 41%.

#### УДК 621.74.019

### *Ларичев Н.С., Реутов А.О., Бабурин В.Г., Кривенко Г.Г., Ефимов А.А.* **Технология математического моделирования литейных процессов**

В настоящее время перспективным направлением развития литейного производства является применение программ компьютерного моделирования литейных процессов. На нашем Предприятии с 2010 года в действующих тематиках применяется специализированный пакет программ ProCAST. За это время были проведены работы по моделированию литейных процессов изготовления деталей ответственного назначения для «ВМЗ» и АО «НПО Энергомаш», получены письма заинтересованности от АО «Красмаш» и АО «Воткинский завод». Результаты работ показали 95% совпадение.

#### Выводы

1. Проведённое математическое моделирование процесса молотовой штамповки в специализированном программном комплексе DEFORM с учётом реологической модели материала позволило оптимизировать количество технологических переходов и разработать технологический процесс изготовления заготовки корпусной детали ЖРД из жаропрочного сплава ЭП666-ВД.

2. На основании результатов математического моделирования была спроектирована и изготовлена дорогостоящая штамповая оснастка с гравюрами необходимой геометрии и получены заготовки требуемого качества с необходимой структурой металла на «ВМЗ» – филиале ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева».

3. Полученные результаты математического моделирования позволили существенно сократить длительность проведения предпроектных исследований, устранить возможность появления производственного брака, что положительно скажется на экономической эффективности от внедрения и реализации технологии.

Программа ProCAST позволяет выявить и устранить литейные дефекты на этапе проектирования технологии. Получение отливок любым методом является сложным дорогостоящим и трудоёмким процессом, поэтому просчёты в технологическом проектировании приводят к большим материальным затратам. Значительно ускорить процесс технологического проектирования, снизить стоимость подготовки производства и исключить ошибки в техпроцессе позволит моделирование технологического процесса изготовления отливок ЖРД, которое становится одним из наиболее распространённых средств исследования и разработки технологических процессов в литейном производстве.

Для корпусных отливок деталей ЖРД требования по герметичности при высоких давлениях накладывают высокие требования по наличию дефектов в отливках:

- минимальная пористость;
- отсутствие горячих и холодных трещин;
- отсутствие дефектов металлургического характера (газовые раковины, крупнозернистая дендритная структура).

Автоматизированное проектирование и моделирование технологического процесса при изготовлении отливок в отличие от базовой графической платформы в ходе подготовки производства позволяет:

- произвести расчёты заполнения формы расплавом и наблюдать на мониторе в трёхмерном виде процесс заполнения, что позволяет контролировать процесс заливки;
- моделировать затвердевание отливки, наблюдать микропористость на мониторе, дефекты усадочного происхождения, образуемые из-за нехватки металла, и таким образом контролировать тепловой баланс системы отливка-форма;
- создать оптимальную литниково-питающую систему моделируемой отливки;
- сократить сроки проектирования и минимизировать затраты на отработку технологического процесса изготовления литых заготовок.

В качестве примера работы программы рассмотрим корректировку технологии изготовления отливки «Корпус» (рис. 1а) из стали ВНЛ-1, которая была выполнена в рамках работы с АО «НПО Энергомаш». Данная отливка обладает разнотолщинностью стенок, что вызывает большое количество дефектов в тепловых узлах (рис. 1б). Однако основная проблема изготовления данной

отливки связана с образованием дефектов газового характера, которые формируются за счёт захвата воздуха в процессе заливки формы расплавом.

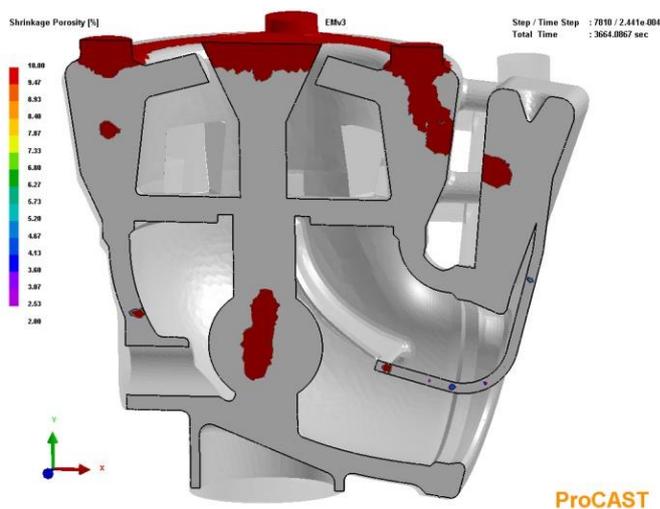
Для качественного выполнения математического моделирования процессов заливки и затвердевания необходимо максимально выдержать все технологические операции изготовления отливки. Эта задача была выполнена специалистами отделения 220 путём тщательного изучения действующей на Предприятии технологии и хронометража технологических операций. Были выявлены следующие особенности:

- несоответствие размеров на чертежах элементов литниково-питающей системы размерам самих элементов, полученных по действующей литейной оснастке;
- средняя толщина изготавливаемой огнеупорной оболочковой формы соответствует 15 мм;
- время от открытия прокаточной печи до установки литейной формы на плац соответствует 2,5 мин, в течение которых форма остывает на воздухе;
- после установки формы на плац ее подкапывают холодной металлической дробью, что способствует более интенсивному охлаждению нижней части отливки;
- заливка начинается спустя 2,5 мин после установки отливки на плац;
- время заливки формы – 25-27 с.

Моделирование действующей на Предприятии технологии показало, что в процессе заливки наблюдается значительное разбрызгивание струи металла (рис. 2), что может привести к образованию корольков, плён и замешиванию воздуха с последующим образованием газовых дефектов типа пор и раковин.



а)



б)

Рис. 1 – Корректировка изготовления отливки «Корпус»

а) 3D модель отливки «Корпус»; б) распределение макродефектов усадочного характера

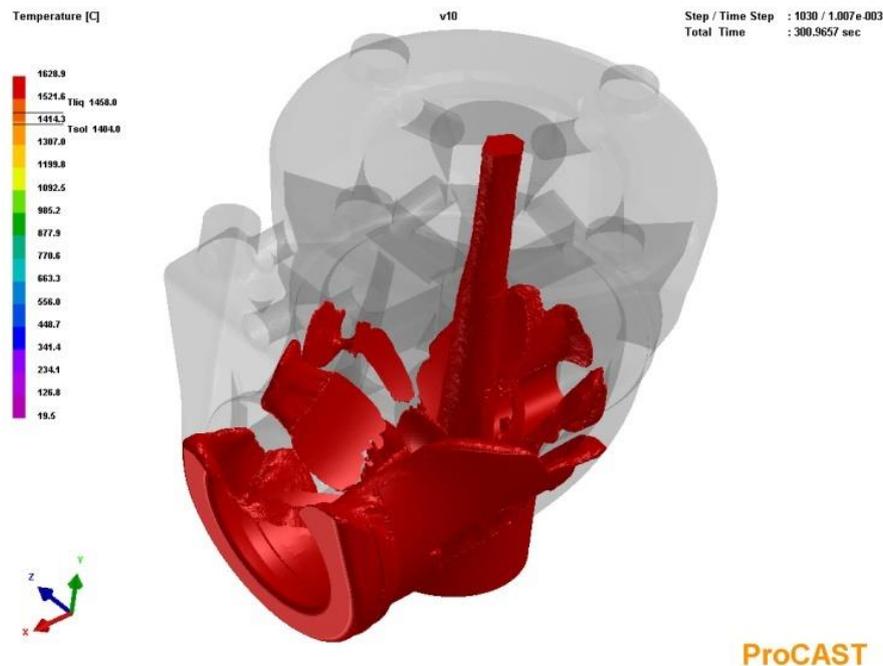


Рис. 2 – Разбрызгивание металла в форме

Сравнение результатов моделирования с реальной отливкой показывает совпадение по газо-усадочным дефектам.

В целях уменьшения разбрызгивания металла и снижения газонасыщения расплава предложено скорректировать литниковую систему для более плавного поступления металла в форму. Моделирование показало, что заложенные технологические решения позволили добиться более плавного характера течения расплава в форме (рис. 3а, б).

Экспериментальная заливка литейной формы, изготовленная согласно предложениям отделения 220, показала улучшение качества отливки, заключающейся в сокращении поверхностных и внутренних дефектов.

Моделирование позволило оптимизировать литниково-питающую систему и сократить количество газовых дефектов в верхнем фланце и во внутренних лопатках по сравнению с действующей технологией.

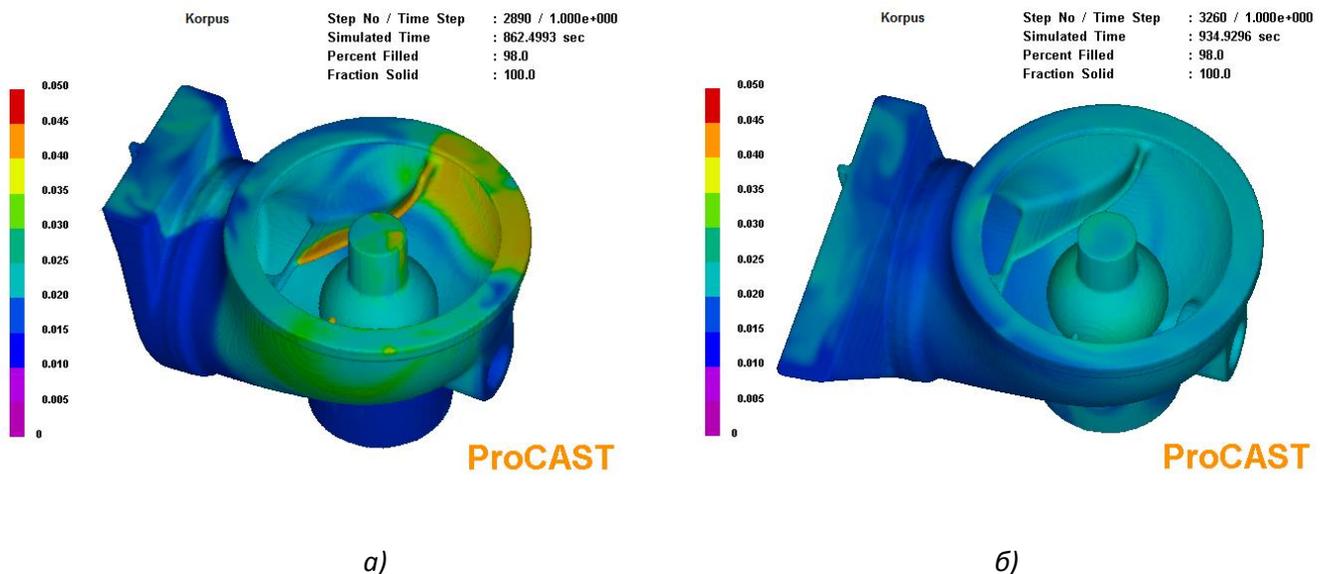


Рис. 3 – Результаты моделирования:

- a) распределение газовых дефектов в отливке по действующей технологии;  
б) распределение газовых дефектов в отливке по скорректированной технологии



УДК 621.961.2.073.004

Вайцехович С.М., Панов Д.В., Кривенко Г.Г., Овечкин Л.М.

### Новый подход к проблеме резки сортового проката на механических прессах

На машиностроительных предприятиях заготовительного производства широкое применение получили штампы и пресс-ножницы для безотходного разделения сортового проката на заготовки под штамповку, что связано с их высокой производительностью и низкой себестоимостью.

Однако существенным недостатком данного способа является низкая стойкость инструмента и искажение формы торцевой части заготовки. Резка металла сопровождается смятием и сколом концов как на отрезаемой заготовке, так и на основном металле, зажато ножами. Кроме того, торцы ножей подвержены трещинообразованию. Чем больше сечение разрезаемого проката, тем больше вероятность возникновения трещин.

Причиной искажения формы заготовки является наличие технологического зазора между ножами. Необходимость зазора ранее объяснялась требованием формирования оптимальной формы очага деформации.

Альтернативой является резка безззорная. В этом случае прижим создаёт в деформируемой заготовке напряжённое состояние всестороннего сжатия, накладываемого на напряжённое состояние, возникающее вследствие технологической операции резки. Авторами проведено исследование вопроса исчерпания ресурса пластичности металла в очаге деформации при резке с зазором. Зависимость качества поверхности резаных торцов от технологического зазора установил С.Ш. Яшайев, предложивший в начале 60-х годов XX века безззорную резку круглого сортового проката. Им введено понятие дифференцированного зажима, при котором отношение усилия зажима заготовки к усилию резки в процессе среза заготовки поддерживалось автоматически за счёт сложной конструкции клиновых зажимов.

Однако промышленное освоение резки с дифференцированным зажимом показало, что наличие одного только кольцевого обжатия заготовки ножами-прижимами недостаточно для стабильно качественной резки заготовок. Кроме того, конструктивное исполнение оборудования для резки прутковых заготовок оказалось достаточно громоздким, что приводило к частым поломкам, свидетельствующим об экономической нецелесообразности применения данного метода резки прутковых заготовок.

Устранение данных моментов лежит в области создания условий всестороннего сжатия в очаге деформации среза. Вопросам разработки конструкций силового оборудования, реализующего способы воздействия на очаг деформации осевым сжатием, в частности, применительно к гибке трубопроводов, посвящены работы Е.Н. Мошниина.

Во ФГУП «НПО «Техномаш» разработан способ резки круглого сортового проката, представляющий собой совмещение кручения и поперечного сдвига, сопровождаемого дифференцированным зажимом заготовки на всём протяжении её разделения на отдельные части.

По данным Г.Д. Деля деформация кручения сопровождается незначительным удлинением заготовки, и в случае ограничения степени свободы заготовки в осевом направлении может привести к наложению на напряжённое состояние сдвига эффекта осевого сжатия. Поэтому внесение в схему безззорной резки заготовки элементов скручивания поперечного сечения заневоленной заготовки создаёт в зоне резки эффект осевого сжатия.

В развитии технологии безззорной резки с учётом устройства для резки скручиванием разработан способ резки сортового круглого металлического проката, позволяющий обеспечивать необходимое качество реза получаемых заготовок.

Устройство для резки сортового проката содержит станину 1 с левой парой режущего блока: шарнирной опорой 2 и прижима 3 и правой парой режущего блока (рис. 1а, б) – шарнирной опорой 4, ползушкой 5, контактирующих друг с другом по вертикальным поверхностям.

В режущих блоках выполнены полости со скошенными опорными поверхностями, в которых устанавливаются ножи-вкладыши в виде сегментов. Правый нижний нож-вкладыш установлен на выталкивателе 6, который контактирует со штоком 7 нижнего гидроцилиндра 8. Верхние, левый 9 и правый 10, гидроцилиндры контактируют с верхними левым прижимом 3 и правой ползушкой 5, которые через скошенные поверхности управляют левыми и правыми ножами-вкладышами.

Левый боковой гидроцилиндр 11 через левое коромысло 12 воздействует на верхний прижим 3, в свою очередь, правый боковой гидроцилиндр 13 через левое коромысло 14 воздействует на ползушку 5.

Левая пара ножей-вкладышей через ползушку 5 соединена системой рычагов 15 и приводом 16 (рис. 2а, б), обеспечивающих поворот левой пары ножей против часовой стрелки, а правая пара ножей-вкладышей – симметричная левой паре – снабжена системой рычагов 17 и приводом 18. Заготовка 19 устанавливается между верхними и нижними ножами-вкладышами.

**Заключение:** Предложен способ резки скручиванием с дополнительным сдвигом зафиксированной заготовки, что приводит к повышению качества реза заготовок и получению ровных и перпендикулярных к продольной оси заготовки зеркально-гладких торцов.

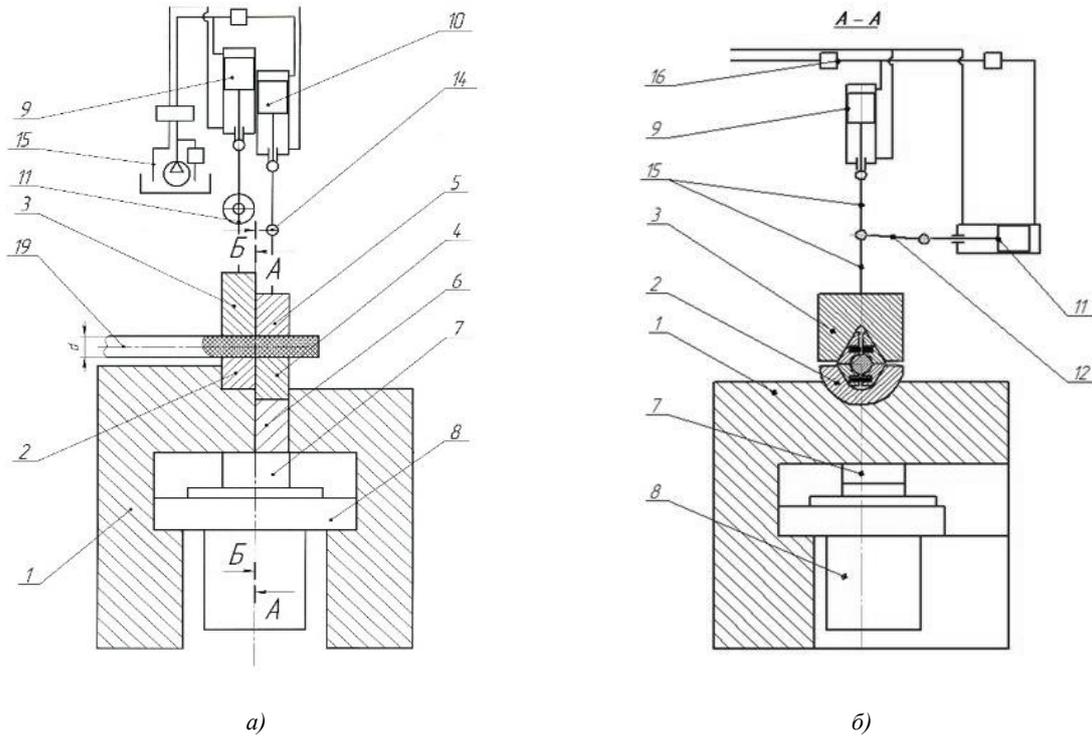


Рис. 1 – Схема устройства для резки сортового проката:  
 а) вид спереди, исходное положение (продольный разрез);  
 б) вид левой половины (А-А), исходное положение (поперечный разрез)

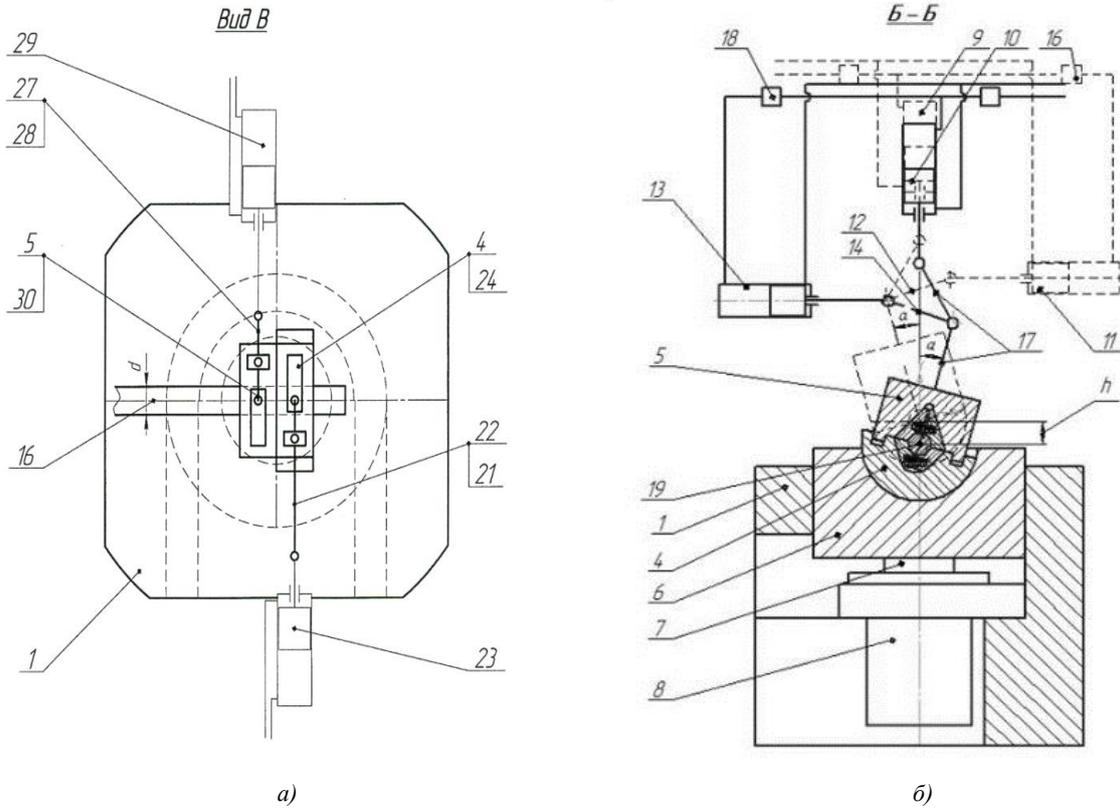


Рис. 2 – Схема устройства для резки сортового проката:  
 а) вид В (вид сверху); б) вид Б-Б, конструктивные элементы штампа  
 в момент разделения заготовки (поперечный разрез)

УДК 629.7:669:620.179.16

*Мысливец Е.А., Кривенко Г.Г.*

### Управление структурообразованием и свойствами литых жаропрочных сплавов и высоколегированных сталей волновым резонансно-акустическим воздействием

Управление физико-химическими процессами в целях получения материалов с заданными свойствами и однородным распределением свойств по объёму всегда было и остаётся актуальной задачей любого технологического процесса. Особенно это касается литья деталей, сварки, нанесения покрытий плазменным и другими методами.

Во ФГУП «НПО «Техномаш» разработаны технология и оборудование для осуществления управления структурообразованием в кристаллизующихся отливках жаропрочных сплавов и высоколегированных сталей слабым акустическим воздействием за счёт примыкающей к кристаллизующейся отливке гальванической петли-антенны, на которую подаются слабые импульсы тока от генератора. Импульсный ток создает поперечное пульсирующее магнитное поле и формирует в скин-слое антенны волны акустических продольных колебаний с характерным для выбранной формы импульсов набором гармоник, т.е. происходит процесс электромагнитного акустического преобразования. Акустические волны беспрепятственно распространяются в расплаве и ускоряют процесс кристаллизации.

Частота следования электромагнитных импульсов, подаваемых в петлю, лежит в радиодиапазоне до тысячи кГц и определяется экспериментально по максимальной эффективности. Другими словами, с помощью электромагнитного излучения радиоволнового диапазона можно регулировать структуру материала и все структурозависимые свойства отливок. При использовании данного метода не происходит вмешательства в технологический процесс литья и не требуется квалифицированный надзор.

Во ФГУП «ВНИИТВЧ» по техническому заданию ФГУП «НПО «Техномаш» изготовили генератор УЗГ1-0,01/950 (рис. 1). Генератор импульсов тока для излучения радиоволнового диапазона, имеющий электрическую колебательную мощность не более 15ВА, – это прибор с регуляторами, индикаторами параметров и выходными клеммами для подключения петли антенны-медиатора.

Устройство ввода сигнала в расплав представляет собой обыкновенный одножильный провод, диаметром не более 2 мм, в твёрдой фторопластовой изоляции от внешних нежелательных гальванических и химических контактов. Длина провода не превышает нескольких метров, и он гальванически замыкает выход генератора импульсов тока на корпус, представляя, таким образом, короткозамкнутую петлю магнитного диполя. При необходимости петля может быть заменена отрезком тугоплавкого или химически стойкого металла.

Генератор устанавливается вблизи вакуумной печи, с заземлением корпуса согласно принятым нормам, и обеспечивается питанием от однофазной сети.



Рис. 1 – Ультразвуковой генератор УЗГ 1-0,01/950 в работе с подключением к вакуумной индукционной установке «Кристаллизатор-105» во время вакуумной плавки



Таблица 1 – Технические характеристики ультразвукового генератора УЗГ1-0,01/950

Резонансная частота, КГц	250... 2000
Потребляемая мощность, ВА	800
КПД, %	80
Рекомендуемый объём озвучивания, л	до 100
Автоматическая подстройка частоты	–
Автоматическая постройка амплитуды	+
Принудительное охлаждение	Не требуется
Вес, кг	2,0

Применение волновой акустической обработки расплава, например, сплава ЖСЗ-ДК, позволяет получить гарантированное улучшение структуры металла (рис. 2), существенное повышение прочностных и пластических характеристик металла: прочности – на 7–10%, предела текучести – на 46%, а пластичности – в 1,8–2 раза.

Более детальный анализ показал преимущество резонансного режима фонового акустического воздействия

перед традиционным технологическим режимом. Исследования структурных и эксплуатационных характеристик отливок в резонансном режиме фонового акустического воздействия в настоящее время продолжают. На сегодняшний день накоплен обширный экспериментальный материал, не вызывающий сомнений в возможности существенного влияния как на кинетические параметры плавки, так и на свойства сплавов.



а)



б)

Рис. 2 – Макроструктура сплава ЖСЗ-ДК:  
а) в исходном литом состоянии (средний размер зерна – 0,33 мм);  
б) после резонансно-акустического воздействия 100 КГц при кристаллизации (средний размер зерна – 0,2 мм)

## ◆ ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ И ПАЙКИ

УДК 621.791.72

*Бараев А.В., Кулик В.И., Кочергин С.А., Маркин К.Н., Белавин А.И., Бещеков В.Г.,  
Зубачев А.Н., Бочаров Ю.А., Цветков В.С., Хрушкова Е.М.*

### **Разработка опытного образца специального технологического оборудования для аддитивного производства методом прямого лазерного выращивания деталей РКТ**

Одним из интенсивно развивающихся и всё более применяемых методов аддитивного производства является процесс Direct Metal Deposition (DMD) (прямое нанесение металлов). Основным технологическим инструментом при лазерном выращивании (нанесении) является сопло подачи порошкового материала, которое обеспечивает формирование геометрии газопорошкового потока для выращивания детали.

В рамках проведения опытно-конструкторской работы на базе лаборатории лазерных технологий ФГУП «НПО «Техномаш» разработаны и изготовлены два типа сопел для подачи порошка.

Отработка вариантов подачи порошка и технологических параметров проводилась на модернизированной установке портального типа на базе волоконного иттербиевого лазера «ЛС-3» мощностью 3 кВт. Для установки сопла относительно оси лазерного излучения разработан и изготовлен юстировочный модуль. Для подачи порошка использовался одноколбовый питатель-дозатор. Данный комплекс имеет высокую точность позиционирования и широкие возможности по варьированию технологических параметров. В качестве материала для

отработки параметров использовался порошковый сплав на основе никеля, фракционным составом 50-100 мкм.

В первом варианте было разработано и изготовлено сопло с четырехструйной подачей порошка (рис. 1а).

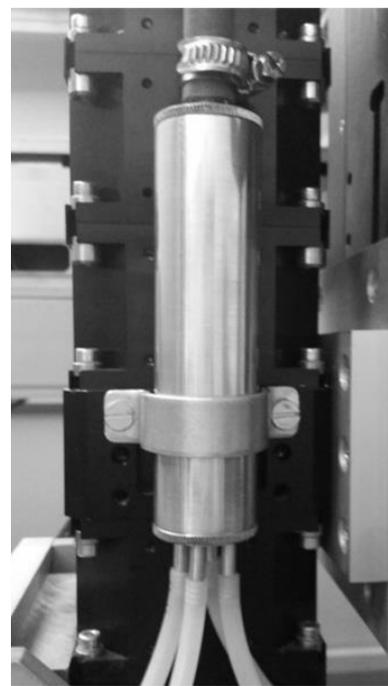
Руководствуясь способом боковой подачи порошка, решено увеличить количество потоков и объединить их в одно единое сопло. Трубки в данном сопле расположены осесимметрично. Для равномерного распределения газопорошкового потока в четырехструйном сопле разработан и изготовлен коллектор (рис. 1б). Данный вариант имеет довольно грубую точность из-за сильного расхождения газопорошковых потоков, но упрощает изготовление крупногабаритных изделий.

Вторым вариантом было разработано и изготовлено сопло с коаксиальной подачей порошка (рис. 2).

За счёт равномерного распределения порошка данное сопло обеспечивает более тонкий и сфокусированный газопорошковый поток, что позволяет получать изделия с толщиной стенки от 0,6 мм. Данное сопло является более экономичным, т.к. эффективность использования порошка возрастает в несколько раз по отношению к четырехструйному соплу.



а)



б)

Рис. 1 – а) сопло с четырехструйной подачей порошка;  
б) коллектор для распределения газопорошкового потока



Рис. 2 – Сопло с коаксиальной подачей порошка

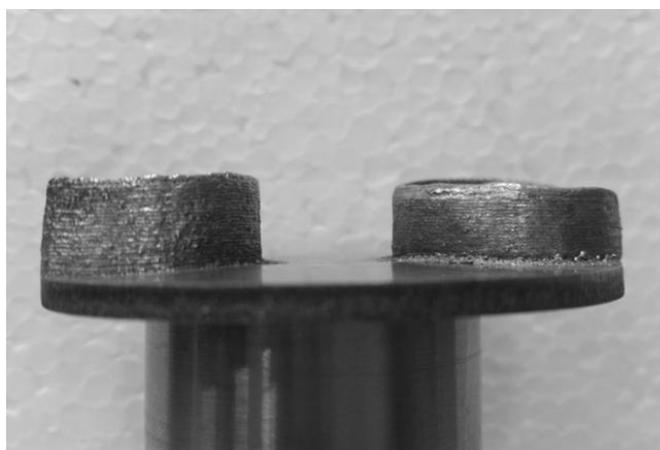
При проведении отработки технологических параметров варьировались: мощность лазерного излучения, диаметр пятна лазерного излучения, скорость перемещения головки, высота выращиваемых слоев, расход газопорошковой смеси.

Отработка вариантов подачи порошка и технологических параметров проводилась на плоских образцах. Выращивались образцы типа «ребро» и «цилиндр» (рис. 3).

Проведённые исследования выявили, что конструкция сопла оказывает существенное влияние на формирование выращиваемой детали. По результатам выполненной работы определён наиболее оптимальный вариант исполнения сопла, на который была подана заявка на получение патента Российской Федерации на полезную модель «Сопло для лазерной аддитивной наплавки материалов».



*a)*



*б)*

Рис. 3 – *a)* образец типа «ребро»; *б)* образец типа «цилиндр»

УДК 621.791.37/.03

Кулик В.И., Коротков А.Н., Степанов В.В., Любченко В.А., Цветков С.Е.

### Технология и оборудование для высокотемпературной пайки стальных трубопроводов

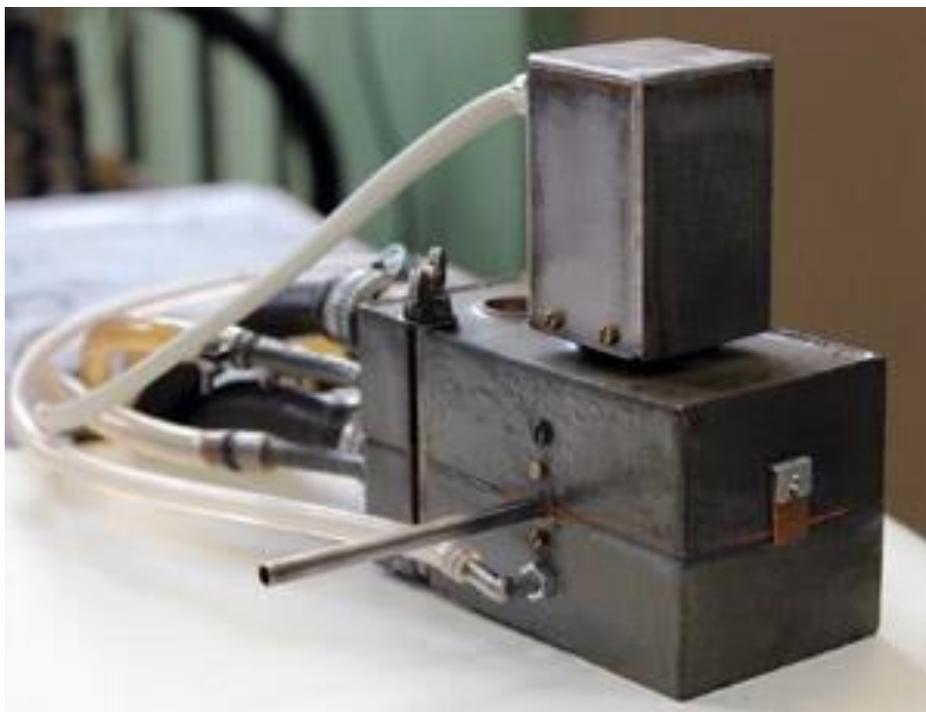
В настоящее время стальные трубопроводы находят широкое применение при изготовлении различных узлов космических аппаратов. Тенденция на снижение веса современных конструкций приводит к необходимости применения более тонкостенных трубопроводов (с толщиной стенки от 0,2 мм), что существенно усложняет процесс их соединения с различными системами летательных аппаратов. Так, например, при высокотемпературной пайке тонкостенных трубопроводов из нержавеющей стали большинством современных припоев на основе меди (например, ПМ17) возможно активное растворение стенок паяемой заготовки с последующей потерей прочности и герметичности конструкции. Для уменьшения степени растворения стенок трубопроводов при пайке и обеспечения минимальной глубины проникновения припоя в основной материал был разработан технологический процесс высокотемпературной пайки с поддержанием параметров пайки в узком диапазоне.

Для реализации разработанного технологического процесса произведена модернизация промышленной установки УПТТ-1 (рис. 1). Основные технические характеристики установки УПТТ-1 представлены в табл. 1.

В целях обеспечения точного задания и поддержания параметров пайки разработана микроконтроллерная система реального времени на базе решений ОАО «МЗТА» российского производства. Установка дополнительно оснащена системой видеорегистрации с четырьмя видеокамерами для визуального наблюдения за местом пайки, электронными регуляторами для управления подачей защитной среды и электрическими клапанами расхода жидкости в системе охлаждения. Для возможности задания и контроля параметров режима пайки установка через интерфейс Ethernet может быть сопряжена с персональным компьютером или выносной сенсорной графической панелью. В системе автоматического управления установки предусмотрено наблюдение за состоянием нагревательного элемента и предупреждение о необходимости его замены, что позволит более эффективно планировать загруженность установки и избежать появления брака в случае выхода нагревательного элемента из строя в процессе пайки. Фиксация параметров режима пайки осуществляется в виде графиков, файлов с видеокамер системы видеорегистрации и файлов с электронными таблицами.



а)



б)

Рис. 1 – Установка для пайки тонкостенных трубопроводов (УПТТ-1):  
а) шкаф управления, б) нагревательное устройство



Таблица 1 – Технические характеристики установки УПТТ-1

Показатель	Значение
Диаметр паяемых трубопроводов, мм	2-5
Толщина стенок паяемых трубопроводов, мм	0,2-0,5
Максимальная температура нагрева соединения, °С	1300
Время нагрева соединения до рабочей температуры, мин	менее 3,5
Тип переналаживаемого НУ	НПТ
Среда в рабочем пространстве НУ	аргон
Режим нагрева	автоматический
Установленная мощность, кВА	8,5
Напряжение питающей сети, В	220 или 380
Максимальное напряжение на выходе установки (на НУ), В, ФС	11
Режим работы	повторно-кратковременный
Площадь, занимаемая установкой, м <sup>2</sup>	0,8
Масса установки, кг	260



Рис. 2 – Внешний вид паяного макетного образца из стали 12X18H10T

Исследование возможности пайки тонкостенных трубопроводов с использованием модернизированной установки осуществляли на макетных образцах трубопроводов из стали 12X18H10T диаметром 5 мм и толщиной стенки 0,2 мм. Пайку осуществляли в стандартном нагревательном устройстве типа НПТ в среде проточного аргона при температуре 1000-1010 °С. Время выдержки при заданной температуре выбирали визуально до полного расплавления припоя с помощью системы видеорегистрации. Для данной конструкции оно составило 2,6-3,0 с. Внешний вид спаянного макетного образца

трубопровода представлен на рис. 2.

Оценку качества паяных соединений образцов осуществляли металлографическими исследованиями на световом микроскопе и испытаниями на герметичность.

Металлографическим анализом установлено получение плотных паяных швов без рыхлот и непропаев. Испытания на герметичность паяных образцов проводили методом «аквариума» с подачей избыточного давления в 6 атм во внутреннюю полость образцов. Установлено отсутствие видимых течей на всех образцах, что свидетельствует о герметичности паяных соединений.



УДК 621 357.7

*Маркин К.Н., Бецеков В.Г., Бочаров Ю.А., Портных А.И.*

## **Исследование способа исключения эрозии материала медного сопла плазмотрона в процессах плазменной металлургии**

Плазмотроны как устройства для получения «низкотемпературной» плазмы (ионизированного газа) в последнее время получили достаточно широкое применение в виде порошковых плазменных распылителей.

Современные порошковые плазмотроны снабжены подачей порошков в плазменную струю. При этом плавление частиц порошка обеспечивается увеличением мощности распылителя. Такая схема исключает плавление порошка в сопле и не влияет на формирование струи.

Плазменные распылители наиболее универсальны и всё больше становятся специализированными. Это обеспечивает большую экономичность их использования.

Наряду с катодом сопло является основным элементом плазмотрона, определяющим его технические характеристики и ресурс работы. Назначение сопла – управление геометрическими и энергетическими параметрами дуги. Кроме того, оно формирует и стабилизирует прикатодную область дугового столба. К основным параметрам сопла относятся: диаметр и высота канала, геометрия рабочей поверхности, или, точнее, рабочей камеры плазмотрона.

Диаметр и высоту канала сопла выбирают в зависимости от величины рабочего тока, состава и расхода плазмообразующего газа. При этом приходится находить наиболее благоприятное сочетание таких показателей, как технологические возможности и надёжность работы плазмотрона, т.е. стойкость сопла и электрода, причём наиболее важным является всё-таки показатель надёжности.

Так, в плазмотронах для напыления при заданном токе и расходе плазмообразующего газа необходимо стремиться к уменьшению диаметра и увеличению высоты канала. Такое изменение размеров канала сопла благоприятно сказывается на технологических возможностях плазмотрона – увеличивается скорость напыления. Вместе с тем падает стойкость сопла, и возникают трудности с зажиганием дуги. Вследствие уменьшения диаметра прикатодной области дуги растут тепловые потоки в электроде, что приводит к снижению ресурса его работы.

Анализ причин выхода из строя сопел плазмотронов позволяет сделать вывод, что существуют два механизма эрозии сопла: вследствие превышения допустимых тепловых нагрузок на него и из-за возникновения так называемой двойной дуги, причём, как правило, превышение тепловых нагрузок на сопло приводит к возникновению двойной дуги. Объясняется это тем, что при увеличении теплового потока выше допустимого возрастает теплопроводность газовой оболочки, примыкающей к внутренней поверхности канала. При этом происходит интенсивный разогрев пристеночного слоя плазмообразующего газа, что создаёт условия для электрического пробоя этого слоя и возникновения двойной дуги.

Из сказанного ясно, что наряду с обеспечением достаточного охлаждения сопла необходимо оптимизировать процесс подачи плазмообразующего газа в его канал, т.е. при конструировании следует учитывать не только канал сопла (материал канала сопла), но и дуговую камеру плазмотрона в целом.

Одним из элементов дуговой камеры является вихревая закрутка, которая обеспечивает тангенциальную подачу плазмообразующего газа в канал сопла. Конструктивно закрутка представляет собой многозаходную резьбу с большим шагом, выполненную концентрично на боковой поверхности электродержателя.

Основное преимущество тангенциальной подачи заключается в том, что она позволяет более жёстко локализовать столб дуги в канале сопла, образовать устойчивый плотный пристеночный слой плазмообразующего газа за счёт турбулизации пограничного слоя в канале, лучшего конвективного теплообмена с нагретой поверхностью канала сопла и более высокой скорости газа.

Аксиальная подача газа даёт возможность лучше организовать поток плазмы, истекающий из сопла, с точки зрения воздействия на обрабатываемое изделие. Однако при этом снижается пространственная стабилизация столба дуги и увеличивается вероятность двойного дугообразования. И тогда для каждого конкретного случая приходится находить наиболее благоприятное сочетание факторов технологических возможностей и надёжности плазмотрона.

Как было сказано выше, параметры дуговой камеры (такие, как высота и диаметр канала сопла, количество заходов, шаг и глубина закрутки) оказывают существенное влияние на качество процесса плазменной обработки и надёжность плазмотрона.

Однако газодинамические и химические процессы, происходящие в рабочем канале сопла плазмотрона, обуславливают такой нежелательный побочный эффект плазменного напыления, как эрозия медного сопла и попадание меди в состав напыляемого изделия.

Методики проектирования и расчёта сопел плазмотронов базируются, как правило, на следующих допущениях:

- газ идеальный, его состояние описывается уравнением Менделеева-Клапейрона;
- расход газа постоянен, течение установившееся;
- газ однороден и неизменен по составу;
- трение между газом и стенками сопла отсутствует;
- теплопередачи через стенки сопла не происходит;
- вязкость и трение между слоями газа пренебрежительно малы;
- скорость газа в поперечном сечении параллельна оси и одинакова во всех точках сечения.



Реальные условия эксплуатации сопел плазмотронов значительно отличаются от принятых допущений и характеризуются значительными поверхностными эффектами, происходящими по границе взаимодействия газового потока с материалом поверхности рабочего канала сопла в условиях:

- газодинамических скачков давления газовой среды по длине рабочего канала сопла;
- активизации процессов химического взаимодействия газовой среды с материалом рабочего канала сопла.

Эффект активизации химического взаимодействия газовой среды с материалом рабочего канала сопла плазмотрона в значительной степени зависит от природы металла сопла и типа его кристаллографической решётки.

Медные сопла плазмотронов характеризуются длительным сохранением структуры, даже при нагреве до температуры  $\sim 0,7$  Тпл, напряжённо-деформированного состояния материала после механической обработки, что определяет низкий уровень энергии дефектов упаковки и скорости разупрочнения при медленном уменьшении плотности дислокаций в материале сопла. Результатом этих процессов является эффект повышения скорости диффузии в приповерхностных слоях меди в зоне рабочего канала сопла и, как результат, резкое возрастание «уноса» меди газовым потоком, обуславливающим эрозию рабочего канала сопла и попаданием включений меди в состав материала формируемой детали. Для устранения указанного технологического применения в плазмотронах медных сопел было предложено техническое решение, заключающееся в выполнении сопла в виде металлического корпуса с цельной вставкой из графита с толщиной стенки, определяемой соотношением:

$$H = (1,0 \dots 1,5) h,$$

где  $H$  – минимальная толщина стенки цельной графитовой вставки, мм;

$h$  – минимальная толщина стенки металлического корпуса, мм.

Сопло плазмотрона (рис. 1) состоит из металлического корпуса 1 со сквозным отверстием и переменной толщиной стенки, а также запрессованной в него по всей

длине цельной графитовой вставкой 2 с рабочим отверстием переменного сечения.

Сопло работает следующим образом: в плазмотроне мелкодисперсные порошки вводятся в плазменную струю, где они оплавляются и направляются за счёт применения низкотемпературной плазмы генерируемой плазмотроном, который состоит из анодного водоохлаждаемого сопла и катодного узла (на чертеже не показан). Между анодом и катодом осциллятора возбуждается электрическая дуга, которая в анодном сопле обжимается газовым потоком, что увеличивает плотность её энергии и повышает температуру столба дуги. Повышение температуры столба дуги создаёт вероятность эрозии материала анодного сопла, однако снабжение сопла тугоплавкой графитовой вставкой исключает перенос материала анодного сопла (меди) в покрытие, что приводит к повреждению наносимого покрытия в процессе работы получаемого изделия.

Выполнение цельной графитовой вставки 2 с минимальной толщиной стенки, меньшей минимальной толщины стенки металлического корпуса 1, не обеспечивает требуемого уровня механической прочности материала вставки 2 при длительной эксплуатации в отношении сохранения расчётной геометрии рабочего отверстия вставки и надёжного удержания её в металлическом корпусе 1.

Выполнение цельной графитовой вставки 2 с минимальной толщиной стенки, превышающей минимальную толщину металлического корпуса в зоне охлаждения вставки в полтора раза, не обеспечивает необходимого отвода тепла от зоны рабочего отверстия, что резко снижает температурную стойкость вставки к возникающим термическим напряжениям при динамических турбулентных «скачках» плазменной струи при эксплуатации сопла.

Таким образом, снабжение сопла плазмотрона графитовой вставкой указанной формы и соотношения размеров, позволит повысить качество нанесения теплозащитного покрытия на деталь за счёт исключения попадания в него недопустимых медных включений. Разработанное техническое решение было запатентовано в России по категории критерия «новизна» как полезная модель.

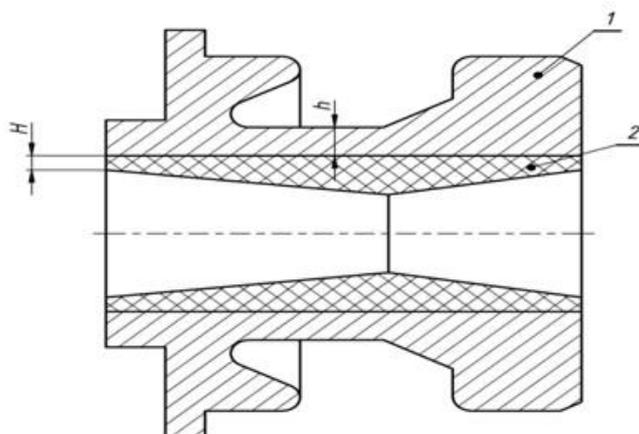


Рис. 1 – Схема сопла плазмотрона с графитовой вставкой

## ◆ ТЕХНОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЙ И МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

УДК 629.76:621.791.3:621.454.2:528.021.4

*Кологов А.В., Хилков К.В., Мильяченко А.А., Андреев М.Д., Фадин А.С.*

### Технология и оборудование автоматизированного оптического контроля геометрических параметров деталей камеры сгорания

Сопло жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) является одним из основных элементов конструкции ракеты-носителя, представляет собой сложную конструкцию, выполненную пайкой, и работает в условиях больших давлений и температур.

На качество пайки сопел влияет качественно выполненная геометрия их составных частей, таких как внешняя и внутренняя стенки, изготовленные из высоколегированной жаропрочной стали. Внешняя стенка представляет собой тонкостенную оболочку, спаиваемую с внутренней стенкой, которая выполняется оребренной. После пайки стенок сопла ребра, выполненные на внутренней стенке, образуют каналы, по которым течет один из компонентов топлива в качестве охлаждающей жидкости. Несоблюдение геометрии образующей и толщины остаточного полотна внутренней стенки может привести к прогоранию стенки ЖРД. Сильное отклонение геометрии ребер может вызывать такие дефекты, как непропай, неспай, заплавление каналов паяных соединений ЖРД.

Таким образом, необходимым становится решение вопроса неразрушающего контроля качества геометрии де-

талей и заготовок деталей сопел ЖРД. Для таких сложных изделий ракетно-космической техники (РКТ) как сопла ЖРД, контроль качества является немаловажной составляющей частью показателя уровня технического прогресса.

Во ФГУП «НПО «Техномаш» разработан комплекс из двух установок, позволяющих производить автоматизированный оптический контроль толщины стенок сопел и камеры сгорания (КС) ЖРД после ротационной вытяжки (РВ), геометрических параметров стенок сопел после фрезеровки ребер (высота ребра, остаточная толщина), а также для контроля профиля стенок и спаянного сопла. Первая установка (рис. 1) предназначена для автоматизированного оптического контроля сопел верхних. Вторая (рис. 2) – для автоматизированного оптического контроля сопел нижних.

Принцип действия установки основан на двух лазерных триангуляционных датчиках, каждый из которых вычисляет расстояние от поверхности датчика до поверхности контролируемого изделия. В результате обработки информации с датчиков и геометрии установки вычисляются геометрические параметры изделия и толщина.



Рис. 1 – Установка для автоматизированного оптического контроля геометрических параметров стенок сопел после фрезеровки ребер ТМКБ.6.25.164.00.00.000



Рис. 2 – Установка для автоматизированного оптического контроля толщины стенок сопел и КС ЖРД после РВ ТМКБ.6.25.165.00.00.000

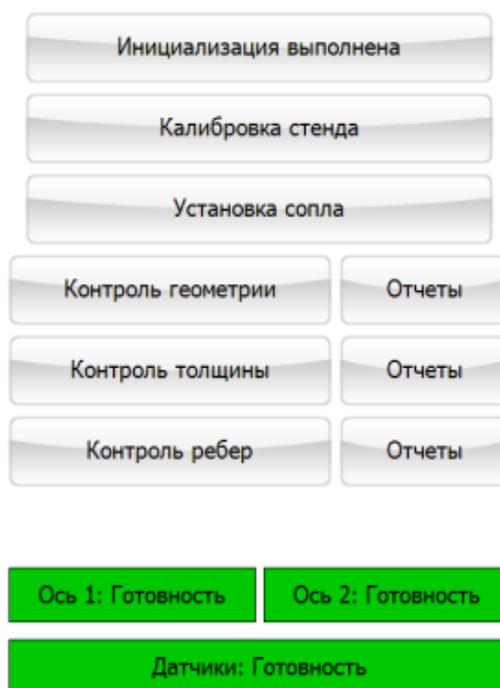


Рис. 3 – Выбор типа контроля

Установки предназначены для проведения контроля параметров заготовок сопел в лабораторных и цеховых условиях. Контроль производится в автоматизированном режиме. Перед началом контроля оператор выбирает тип контроля и задаёт параметры контроля (рис. 4).

В ходе процесса контроля на экране в реальном времени выводятся контролируемые параметры заготовки ЖРД (рис. 5).

По завершении процесса контроля выдается протокол контроля, содержащий информацию о дефектах, их количестве и координаты (рис. 6).

ФГУП «НПО «Техномаш» готово к осуществлению опытного внедрения и эксплуатации установок контроля геометрии, а также к тиражированию данных установок для нужд потребителей.

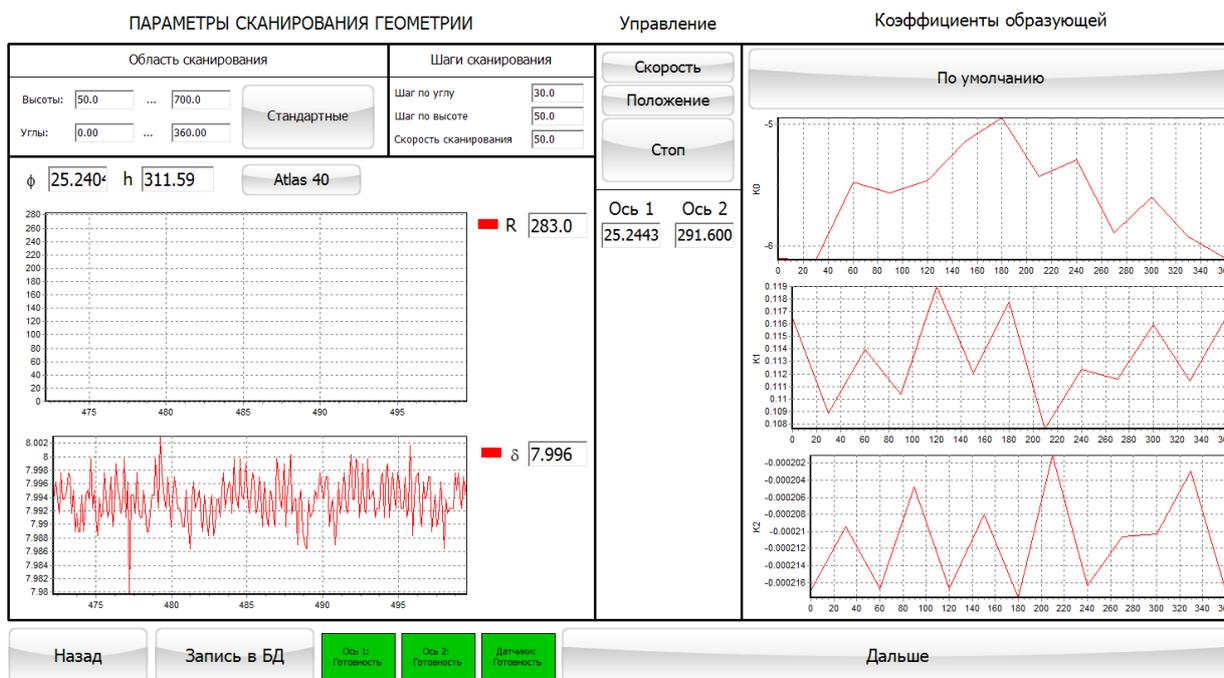


Рис. 4 – Выбор параметров контроля при контроле геометрии сопла

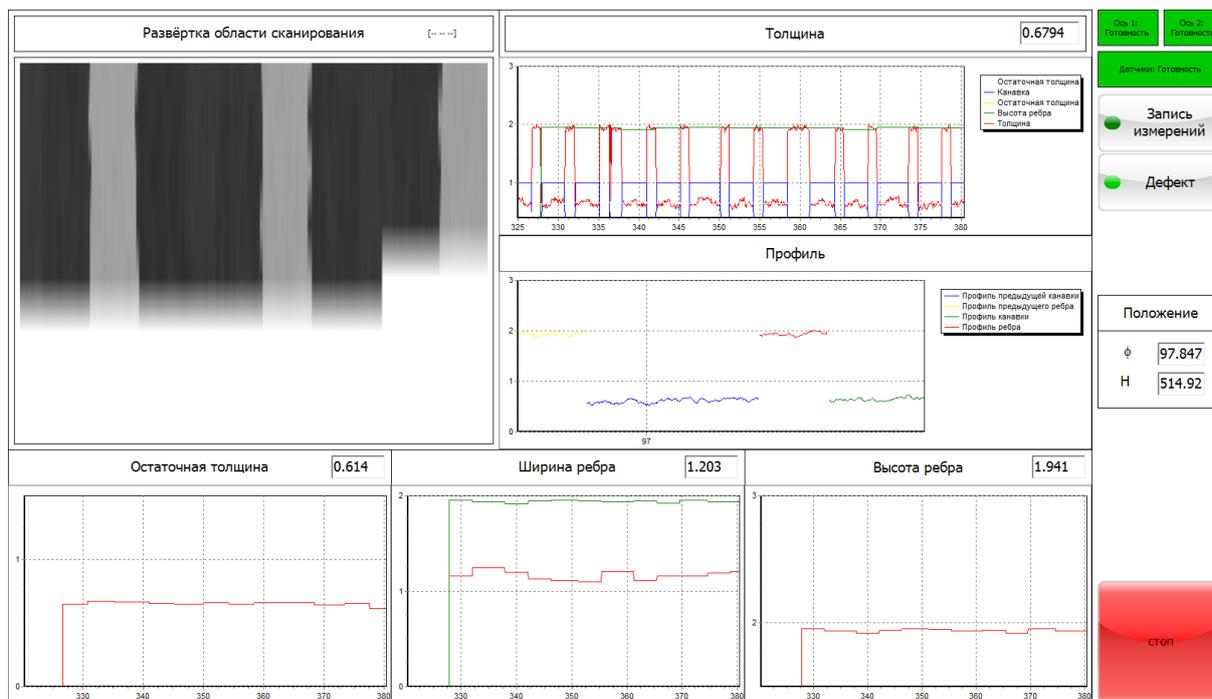


Рис. 5 – Процесс контроля фрезерованных каналов охлаждения

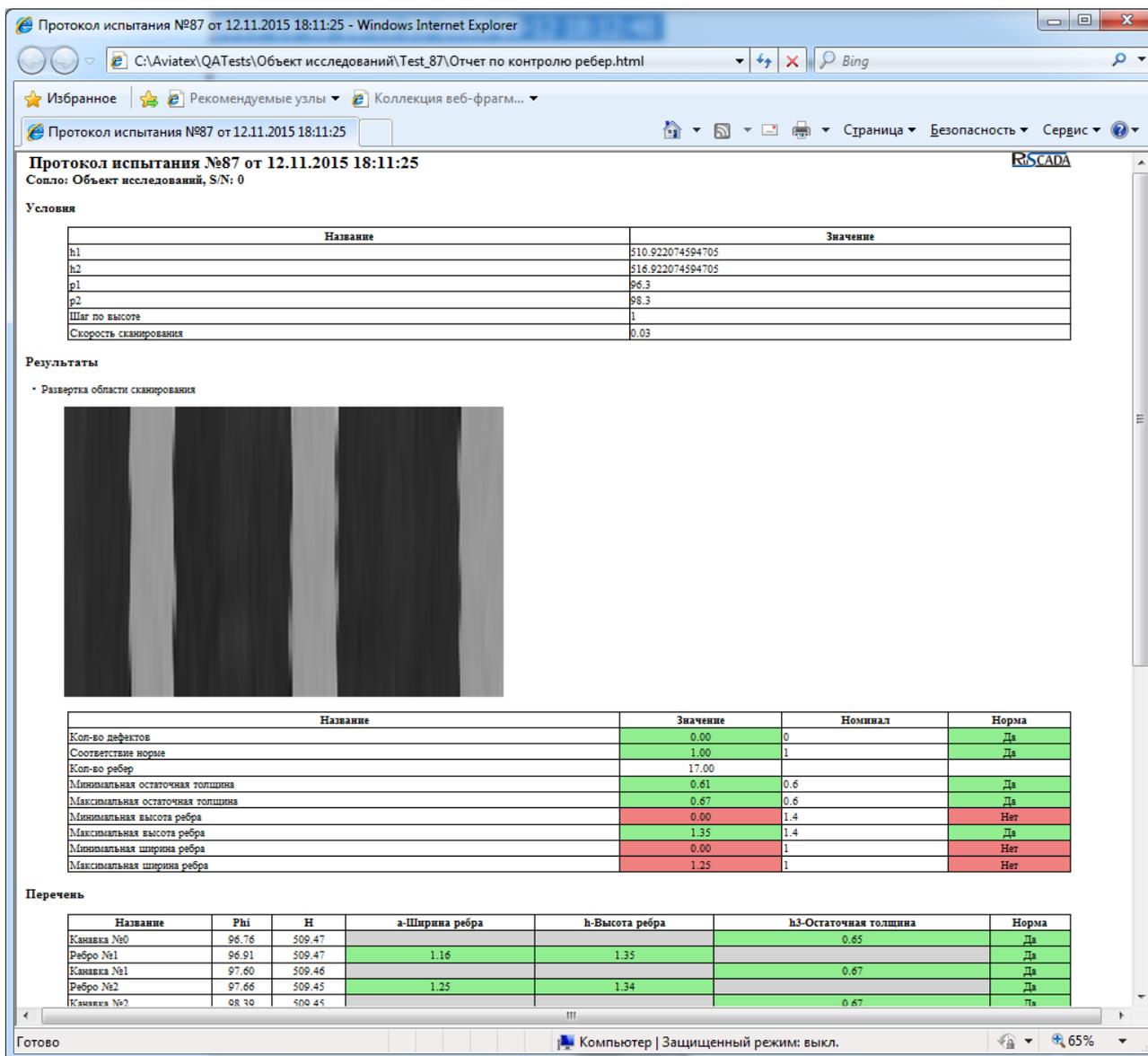


Рис. 6 – Протокол контроля фрезерованных каналов охлаждения

УДК 620.163.29 (063.74)

*Соловьев В.Н., Кологов А.В., Барышников В.И.*

**О разработке межотраслевого гелиевого течеискателя и актуализации отечественных технологий течеискания**

Десятилетие наложило отпечаток на многие отрасли машиностроения. Однако недостатки финансирования не остановили творческие изыскания российских мастеров. В области контроля герметичности в течение некоторого времени пришлось ориентироваться на зарубежные течеискатели, и отечественные базовые технологии течеискания отошли на второй план.

К настоящему времени отечественные течеискатели полностью идентичны зарубежным аналогам и

во многом состоят из импортных комплектующих. Таким образом, можно констатировать, что самостоятельное развитие в этой отрасли пока не имеет перспектив.

Анализ рынка комплектующих показывает, что накоплена некая масса предложений разных отечественных фирм, позволяющая говорить о возможности разработки современного импортозамещающего гелиевого масс-спектрометрического течеискателя.



К наиболее важным отечественным аспектам этих предложений следует отнести:

- поставку специально для течеискателей турбомолекулярных и механических безмасляных насосов;
- производство вакуумных электроклапанов широкой номенклатуры;
- создание 24-разрядных аналого-цифровых преобразователей;
- внедрение современных цифровых сигнальных микропроцессоров и контроллеров;
- работу по улучшению характеристик микротоковых усилителей;
- апробирование масс-спектрометров с 270-ти градусным полем дрейфа;
- предложение по 12-ти разрядным цифровым вакуумным датчикам давления;
- разработку номенклатуры контрольных течей с основной погрешностью не более 10%.

Подробный анализ представленных в России зарубежных течеискателей позволяет не только систематизировать наиболее важные характеристики этих приборов, но и акцентировать отечественного производителя на выявленные тенденции рынка. Тем не менее, необходимо сохранять и совершенствовать апробированные уникальные отечественные технологии течеискания. Такого развития ожидает не только ракетно-космическая промышленность (РКП), но и авиационная, судостроительная и некоторые другие отрасли.

Во ФГУП «НПО «Техномаш» разработаны повышенные требования к перспективному отечественному течеискателю, с которыми ознакомлены ведущие российские поставщики. Наше Предприятие готово согласовать техническое задание на разработку с соответствующими технологическими институтами заинтересованных отраслей.

Актуальными запросами технологий течеискания остаются:

- безмасляная откачка и защищённость от фона гелия в помещении;
- обеспечение работы высокочувствительным способом «Шупа»;
- реализация технологии работ методом «Накопления при атмосферном давлении» с соответствующим оснащением производственного цикла;
- индикация входного потока в течеискатель с разрешением до третьего десятичного знака;
- измерение концентрации гелия во входном потоке в ppm;
- стандартизованное комплексование течеискателей со средствами управления технологическим процессом;
- обеспечение линейности характеристик течеискателя в пределах четырёх декад при стабильном техпроцессе;
- долговременная работа в составе барокамер (до 50 часов) с калибровкой течеискателя по внешним контрольным течам в широком диапазоне потоков со стабилизацией режима измерений;
- обеспечение измерений утечек на объекте испытаний с погрешностью не более  $\pm 15\%$ ;
- постоянная индикация в реальном времени мини-

мального регистрируемого потока (концентрации) по результатам последней калибровки;

- более широкое представление единиц индицируемых потоков и давления;
- опционная комплектация контрольными течами в запрашиваемом диапазоне потоков гелия;
- поставка соответствующей комплектации для всех высокочувствительных локальных методов испытаний;
- поддержка основных отечественных стандартов, относящихся к течеисканию, и отражение всех стандартизованных методов контроля герметичности в руководстве по эксплуатации течеискателей.

ФГУП «НПО «Техномаш» готово предложить развёрнутое техническое задание на разработку и производство современного импортоопережающего измерительного гелиевого масс-спектрометрического течеискателя, удовлетворяющего современным требованиям всех заинтересованных отраслей промышленности.

Техническое задание содержит соответствующие предложения по обеспечению:

- повышенных метрологических характеристик в широком диапазоне потоков и концентраций;
- соответствия требованиям ГОСТ 24054-80, ГОСТ 28517-90, ГОСТ 53117-2008;
- контроля прохождения сигнала от испытуемого объекта в случае отказа от применения внешних контрольных течей;
- способов автоматизации технологических процессов течеискания, включая стабилизации режимов измерений;
- необходимой номенклатуры базовой и опционной комплектации течеискателей.

Течеискатель должен изготавливаться полностью из отечественных комплектующих и соответствовать работе по современным технологическим и метрологическим стандартам. Базовую комплектацию течеискателей необходимо приспособить к проведению испытаний по всем методам, указанным в стандартах, включая вакуумные испытания в крупных барокамерах.

ФГУП «НПО «Техномаш» берёт на себя апробирование опытного образца течеискателя на своей базе и испытания серийного варианта на ведущих предприятиях ракетно-космической отрасли. Также мы приглашаем ведущие институты и предприятия заинтересованных отраслей промышленности принять участие в отработке и приёме течеискателя.

Ориентировочный срок реализации проекта три года:

- первый год – заказ покупных деталей, согласование технического задания со всеми заинтересованными сторонами, разработка недостающих комплектующих, макетирование опытного образца;
- второй год – выпуск первого опытного образца, его испытание у изготовителя и на базе нашего Предприятия;
- третий год – выпуск второго опытного образца и испытание его на ведущих предприятиях РКП.

В дальнейшем предполагается актуализация пакета отраслевых стандартов, относящихся к контролю герметичности, с учётом уникальных характеристик нового течеискателя и современных запросов технологии.



УДК 620.163.29 (063.74)

*Соловьев В.Н., Кологов А.В., Барышников В.И.*

### Аргоновое течеискание сегодня и завтра

История использования масс-спектрометрических течеискателей при контроле герметичности объектов ракетно-космической техники неразрывно связана с применением гелия в качестве пробного газа. Гелий – лёгкий инертный газ, хорошо смешивается с другими компонентами контрольной смеси, гелиевые масс-спектрометры имеют высокую избирательность и требуют меньшую напряжённость магнитного поля в сравнении с другими газами. Однако встречаются случаи, когда необходимо применить в тех же условиях другой пробный газ.

В отраслевом стандарте ОСТ 92-1527-89 «Методы испытаний на герметичность с применением масс-спектрометрических течеискателей» кроме гелия в качестве пробного газа рекомендован аргон. Было много попыток конструирования аргонового течеискателя: перестройка течеискателя ПТИ-7 с более сильным магнитом (Центр им. М.В. Хруничева – 1967 г.); применение течеискателя ПТИ-10А (завод «Измеритель» – 1970 г.); разработка многогазового течеискателя по теме «Гермет» (ФГУП «НПО «Техномаш» – 2015 г.) и другие работы. Следует признать, что наилучшие характеристики показывают статические масс-спектрометры: омегатроны, квадруполи и фарвитроны, имеющие недостаточно высокую избирательность и чувствительность с цилиндром Фарадея. Но применение вакуумного электронного умножителя в таких случаях приводит к высокому уровню шумов.

Ещё в 1973 г. на базе Московского авиационного института В.Ю. Брофманом защищена диссертация по обоснованию основных положений к применению в масс-спектрометрическом способе контроля герметичности различных пробных газов («Применение разных газов при контроле герметичности»). В работе выведены «весовые» характеристики разных пробных газов в зависимости от разных факторов: цены, содержания в атмосфере, проницаемости, наличия детекторов, физико-химических свойств и других особенностей в условиях стандартных методов контроля герметичности. В локальных методах контроля герметичности в качестве пробных газов наиболее приемлемыми оказались элегаз и закись азота, которых практически нет в атмосфере. При контроле герметичности вакуумным методом достаточно хорошие возможности выявлены у аргона.

Вакуумное аргоновое течеискание – наиболее удобный вид контроля герметичности с достаточно высокой чувствительностью взамен гелиевого. Аргоновый фон в барокамере снижается значительно быстрее, чем гелиевый, а минимальный регистрируемый течеискателем поток аргона может составлять  $1 \cdot 10^{-3}$  л мкм рт. ст./с. В случае необходимости, подключение азотных ловушек полностью нейтрализует поток аргона в схему измерений.

Вакуумный аргоновый контроль герметичности, упомянутый в отраслевых стандартах, не получил своего применения в отработанных в промышленности технологиях по нескольким причинам:

- отсутствие поставщиков серийных высокочувствительных аргоновых течеискателей;
- отсутствие предложений по поставке вакуумных аргоновых контрольных течей с диапазоном потоков  $1 \cdot 10^{-3} \div 1 \cdot 10^{-1}$  л мкм рт. ст./с;
- неотработки данного метода контроля на крупных барокамерах, где это наиболее целесообразно.

Большинство барокамер в России, предназначенных для контроля герметичности, строятся как устройства для получения и поддержания вакуума, а затем на них пробуют устанавливать течеискательное оборудование. Такая практика порочна, так как системы течеискания становятся не основополагающими и, соответственно, будут не оптимальными для любой камеры, а чувствительность контроля герметичности, как минимум, на порядок хуже.

Загазованность вакуумной системы от крупной течи по гелию в объекте испытаний, надолго выводит из строя гелиевое течеискание в большой барокамере. Поскольку остановка цикла испытаний по ряду причин невозможна, предпочтителен переход на аргоновое течеискание других полостей объекта. Можно сократить время контроля герметичности объектов с развитой пневмосистемой за счёт одновременного испытания различных полостей разными пробными газами. Контроль герметичности полостей, в которые ранее закачивался гелий, из-за длительного присутствия высокого уровня фона, лучше проводить с применением аргона, если позволяют реальная чувствительность и другие факторы.

Если в конструкции герметизируемых полостей применены углепластики и другие гелиево-проницаемые материалы, то **аргоновому течеисканию просто нет альтернативы**, поскольку неметаллические материалы рано или поздно начнут пропускать гелий.

Современные аргоновые течеискатели могут быть поставлены по первому требованию потребителя. Как пример служит деятельность научно-производственной фирмы «Прогресс» (г. Санкт-Петербург), выпускающую гелиевые течеискатели, и способной легко перестроить свой серийный течеискатель на регистрацию аргона. Возможно, что аналогичную работу в силах выполнить и другие производители гелиевых течеискателей.

Таким образом, технология аргонового контроля герметичности вакуумным методом в современных условиях может быть реализована достаточно просто, при наличии соответствующих аргоновых контрольных течей.

Одновременно со всем вышесказанным существуют и проблемы с выпуском аргоновых контрольных течей:

- отсутствие типов эталонных аргоновых контрольных течей, поверяемых во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева;
- для простых (дешёвых) контрольных течей с потоком аргона более  $1 \cdot 10^{-2}$  л мкм рт. ст./с период перекалибровки составляет порядка одного месяца, а гарантийный срок – не более одного года;
- отсутствие апробированных способов калибровки



контрольных течей в диапазоне потоков аргона  $1 \cdot 10^{-3} \div 1 \cdot 10^{-2}$  л мкм рт. ст./с и с основной относительной погрешностью, не превышающей  $\pm 10\%$ .

- ФГУП «НПО «Техномаш» успешно разрешило наиболее серьезные противоречия этих технологий и предлагает к поставке контрольные течи с потоками аргона  $1 \cdot 10^{-3} \div 1 \cdot 10^{-1}$  л мкм рт. ст./с и основной относительной погрешностью не более  $\pm 10\%$ . Аргоновые контрольные течи планируется выпускать двух видов: для калибровки течеискателей в типоразмерах течей типа Гелит и в более крупном типоразмере для калибровки схем течеискания барокамеры. Перекалибровка таких контрольных течей производится самим потребителем.

- ФГУП «НПО «Техномаш» работает над совмещением технологий контроля герметичности по гелию и аргону одновременно в одной барокамере. Для каждой крупной барокамеры Предприятие может представить методические материалы по вакуумному контролю герметичности гелиевым и аргоновым методами течеискания в пределах использования существующего оборудования.

- На строящиеся барокамеры или камеры, для которых созрела необходимость оптимизации схем течеискания, ФГУП «НПО «Техномаш» готово создать проект актуализации таких схем с доведением минимального регистрируемого потока на пустой барокамере по гелию до  $1 \cdot 10^{-5}$  л мкм рт. ст./с, а по потоку аргона – до  $1 \cdot 10^{-3}$  л мкм рт. ст./с с основной относительной погрешностью, не превышающей  $\pm 15\%$ .

- Поскольку все крупные вакуумные камеры уникальны, ФГУП «НПО «Техномаш» разрабатывает инструкции по контролю герметичности гелием и аргоном для каждой камеры, а при необходимости – для каждого объекта испытаний.

- Также ФГУП «НПО «Техномаш» рассматривает заказы на системы течеискания, встраивание в автоматизированные системы технологического контроля и управления; оказывает помощь в заказе и изготовлении необходимого технологического оборудования и оснастки; предлагает комплекс оснащения для уточнения места течей, обнаруженных при вакуумных испытаниях.

УДК 621.91.06: 658.562.64

*Савинов Ю.И., Рубцов И.С., Должанский Ю.М., Утешев С.И.*

### **Виброконтроль и диагностика кинематических систем обрабатывающего станочного оборудования**

К настоящему времени достаточно большой процент станочного парка предприятий машиностроительного и двигательного производств ракетно-космической промышленности (РКП) физически устарел и для поддержания его в состоянии, обеспечивающем современные требования к точности обработки деталей, необходимо проведение трудоёмких плановых ремонтно-профилактических работ.

Одним из направлений эффективного решения данной проблемы может стать разработка специальных автоматизированных инструментальных комплексов (ИК) для безразборной диагностики кинематических и функциональных систем станков. Наиболее экономичным и информативным инструментом идентификации работоспособности оборудования является получение и анализ его вибрационных характеристик, непосредственно связанных и напрямую определяющих показатели точности станочной обработки.

Как показывает практика, методами вибродиагностики может выявляться более 400 типовых дефектов механических узлов и кинематических систем станков, в том числе:

- износ наружного и внутреннего колец, шариков (роликов) и сепараторов подшипников;
- перекосы, раковины, трещины и другие механические дефекты колец и тел качения подшипников;
- неравномерный радиальный натяг подшипников;
- дефекты зацеплений ведущих (ведомых) шестерён ременных передач станков;
- перекосы, биения и износ винтовых передач;
- износ и дефекты шарико-винтовых передач;

- биение и дисбаланс валов, шпинделей и шкотов станков и т.д.

Время проведения цикла безразборной вибродиагностики станка в производственных условиях составляет не более 2–3 часов. За это время устанавливается не только то, какие именно узлы недопустимо износились, но идентифицируются непосредственно детали этих узлов.

Пример протокола записи вибраций и выводимых на экран ИК результатов вибродиагностики станка приведён на рис. 1. Результаты контроля фиксируются в нижней части протоколов и при необходимости могут быть сохранены в электронном паспорте оборудования.

На рис. 2 приведен разработанной во ФГУП «НПО «Техномаш» опытный образец ИК, позволяющий:

- измерять амплитуды и фазы вибраций на частотах, кратных оборотной;
- оценивать работоспособность и прогнозировать состояние вращающихся узлов оборудования по параметрам вибрации;
- измерять и проводить спектральный анализ электрических сигналов датчиков;
- отображать и запоминать временные изменения сигналов (работать в режиме осциллографа).

Инновационными элементами ИК являются:

- цифровая система сбора и обработки информации;
- унификация выходных сигналов, подключаемых к ИК средств измерения физических величин;
- многофункциональная реконфигурируемая система сбора данных и управления (Compact RIO);
- поддержка интеллектуальных датчиков типа IEEE 1451.4, TEDS кл. 1.

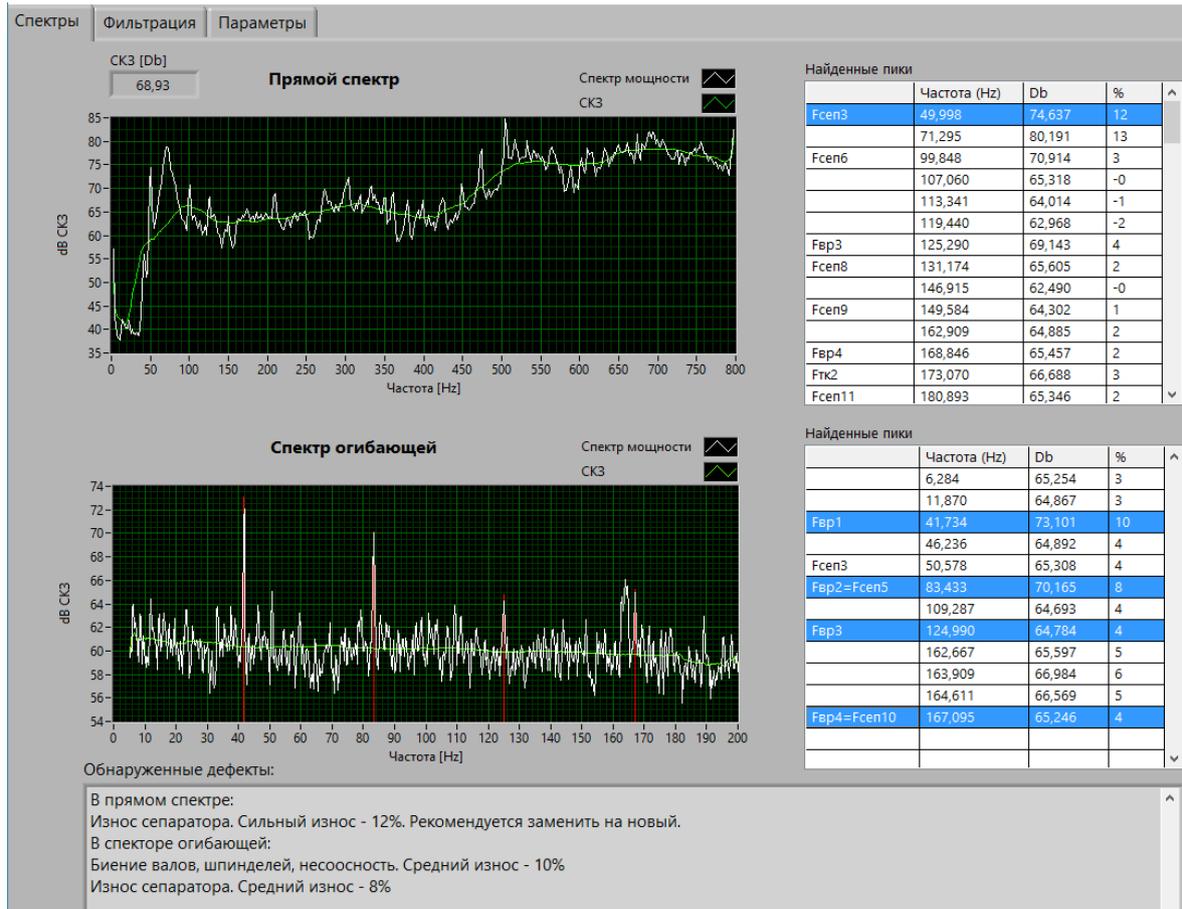


Рис. 1 – Типовой протокол сеанса вибродиагностики станка



Рис. 2 – Опытный образец инструментального комплекса

Таблица 1 – Основные технические характеристики ИК

Число каналов сбора и передачи информации	не менее 16
Число каналов аналогового ввода	4
Количество одновременно подключаемых средств измерения физических величин с унифицированным выходным сигналом 0-10В или 0-20 мА	не менее 16
Параметры внутреннего опорного источника:	
– частота, МГц,	13,1
– питание, ВхГц	220х50
– потребляемая мощность, кВт	не более 1,6
– габариты, мм	1200х780х1450

На рис. 3 приведено фото производственного участка ФГУП «НПО «Техномаш» с раскатным станом СРВ-1200, в составе которого проводилась отработка и опытная эксплуатация ИК.

Разработанный ИК отличается практически неограниченной мобильностью в пределах, выделяемых для его размещения производственных помещений. В перспективе возможно его использование в составе оборудования сквозных систем автоматизированного проектирования и оперативного мониторинга средств управления, контроля и диагностики специального производственного оборудования машиностроительного производства.

В заключение отметим, что внедрение ИК, подобного приведённому в данной статье, позволит:

- оперативно обнаруживать разного рода дефекты кинематических систем станочного оборудования на самых ранних этапах их возникновения;
- своевременно диагностировать возможность воз-

никновения критических и аварийных ситуаций при эксплуатации обрабатывающего оборудования;

- исключить необходимость полной разборки обрабатывающих станков при плановых ремонтно-профилактических работах;

- повысить качество обслуживания оборудования и сократить время проведения плановых ремонтно-профилактических работ;

- определять до начала проведения плановых и оперативных ремонтных работ объём запасных частей, необходимый и достаточный для восстановления номинальных характеристик станков;

- гарантировать требуемое качество обработки деталей при снижении (в среднем на 40–50%) стоимости технического обслуживания обрабатывающего оборудования.

P.S. Отечественных аналогов представленному ИК – нет, а сведениями о зарубежных аналогах авторы не располагают.



Рис. 3 – Опытный образец ИК (1) на участке ротационной вытяжки ФГУП «НПО «Техномаш»



## ✦ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГИРОСКОПОВ И ПРИБОРОВ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ

УДК 629.78:621.822.7

*Камалдинов А.М., Аксёнов Е.Г., Ермолов М.И.*

### Стенд контроля шарикоподшипниковых опор гиросприборов по моментным характеристикам

Специалистами ФГУП «НПО «Техномаш» разработан стенд для контроля шарикоподшипниковых опор гиросприборов (рис. 1).

#### Принцип работы

Вращение шарикоподшипниковой опоры осуществляется тихоходным (0,5-4 об/мин) приводом стенда. Создаваемый опорой момент измеряется с помощью преобразователя моментов, оцифровывается АЦП и передается в персональный компьютер, где обрабатывается специальным программным обеспечением, которое позволяет определить следующее:

- средний момент (вычисляется при вращении опоры по и против часовой стрелки) – рис. 2;
- место расположения дефекта (внутреннее, наружное кольцо или шарик) – рис. 3;
- вид дефекта (вмятина, выступ) – рис. 4;

- ориентировочный размер дефекта;
- разность скоростей вращения сепараторов двух подшипников опоры – рис. 5, 6;
- перекося колец подшипника – рис. 7;
- дефект сепаратора – рис. 8;
- наличие в зоне контакта шариков и колец твердых частиц.

Стенд контроля шарикоподшипниковых опор гиросприборов разработан в двух модификациях: для измерения моментов до 0,00196 Нм и до 0,049 Нм.

Эффективность работы стенда была подтверждена в филиале ФГУП «НПЦАП» – «ПО «Корпус» при контроле гиросмоторов КХ827-000.

Стоит отметить, что проведение контроля возможно не только для шарикоподшипниковых опор, но и отдельных подшипников.

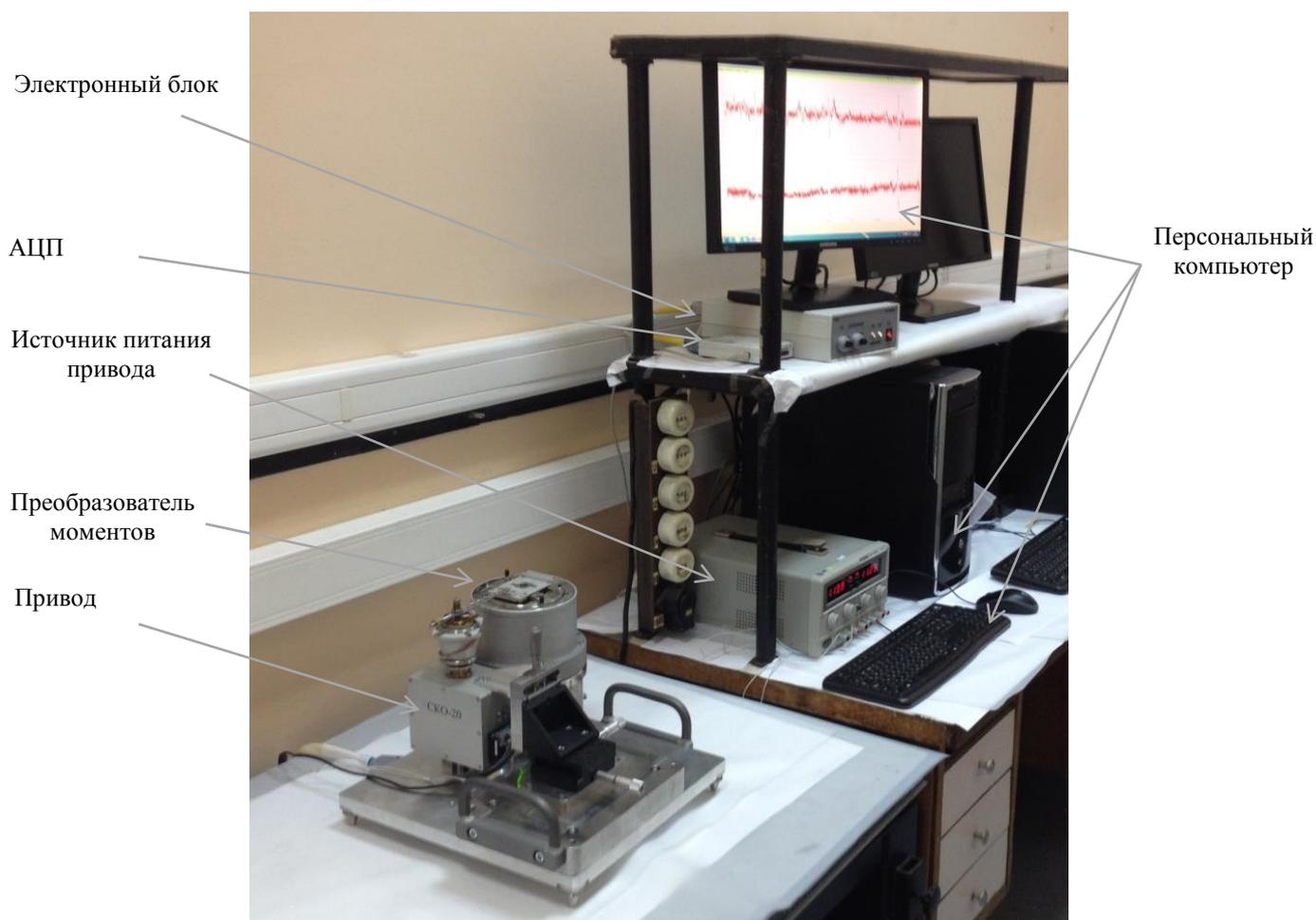


Рис. 1 – Стенд контроля опор

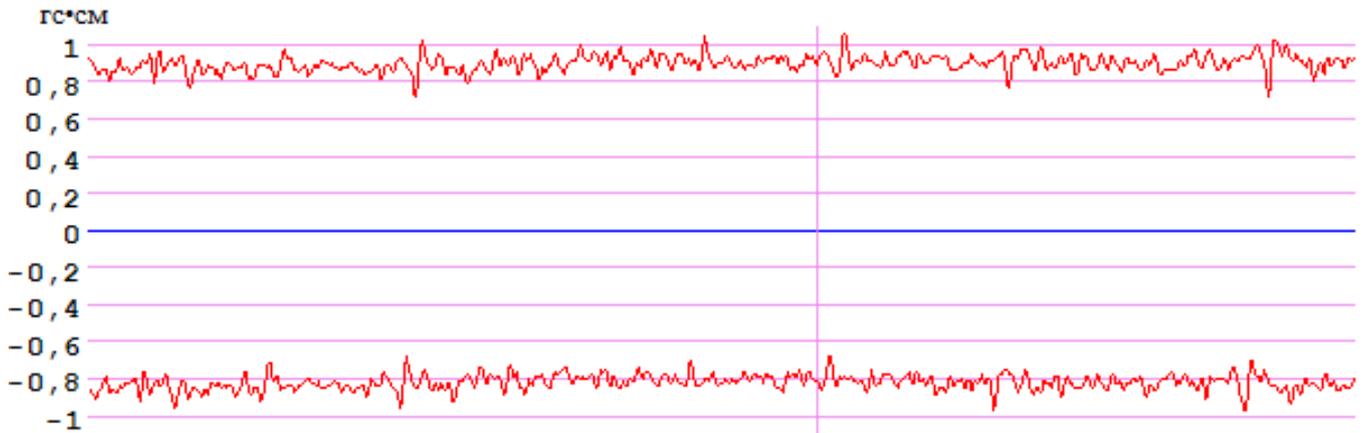


Рис. 2 – Изменения момента при вращении опоры по и против часовой стрелки (повторяемость изменения момента, вызванная шероховатостью дорожек подшипника, сохраняется, т.к. шарики проходят по одним и тем же местам)

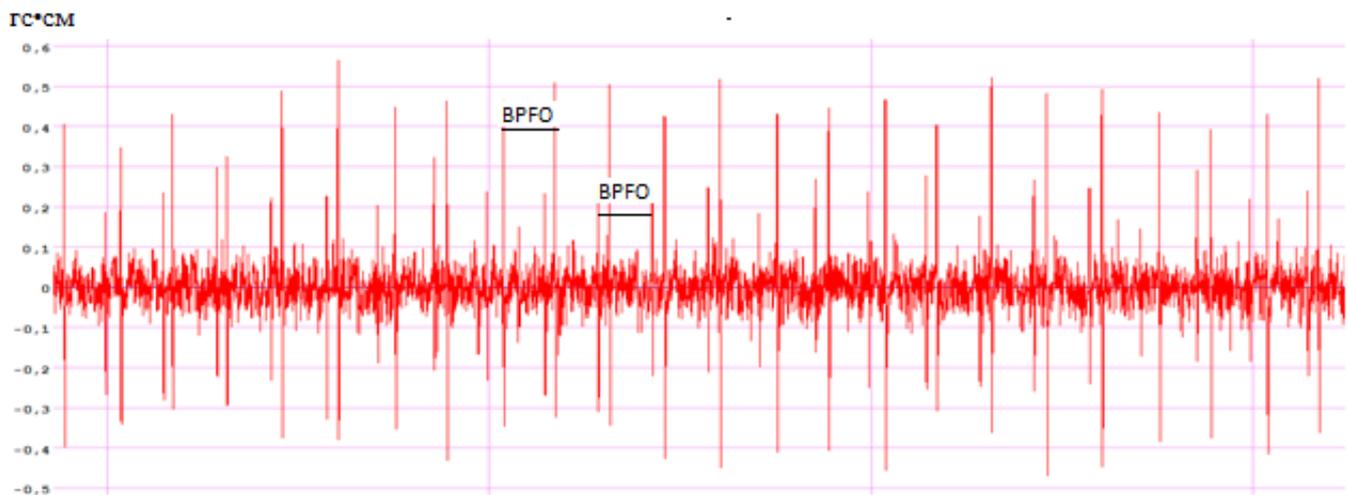


Рис. 3 – Два дефекта на внешней обойме подшипника (частота следования пиков соответствует частоте перекачивания шариков по внешней обойме подшипника)

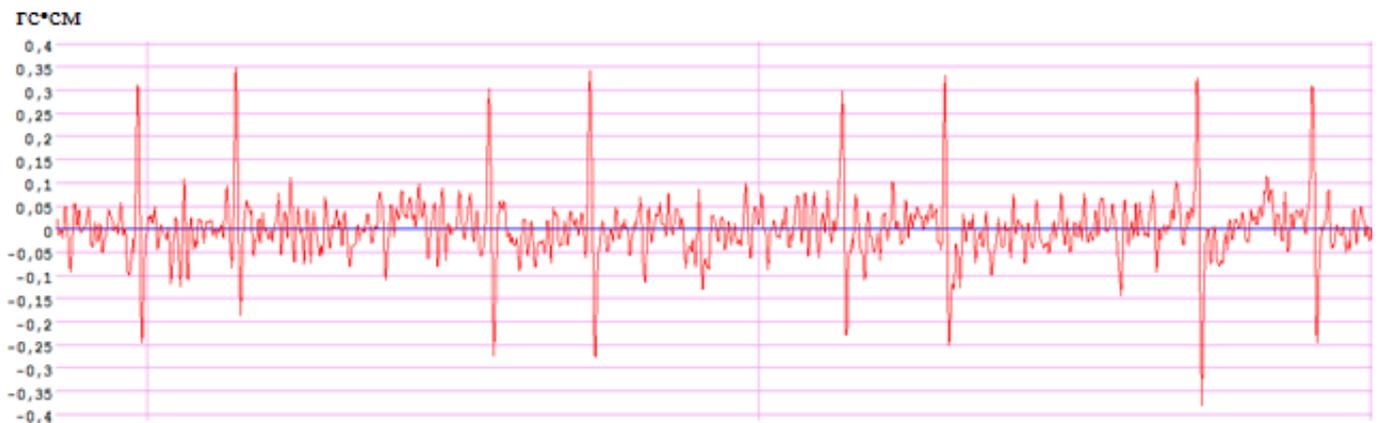


Рис. 4 – Увеличенный график дефектов (момент сначала возрастает, потом падает. Тип дефекта – выступ)

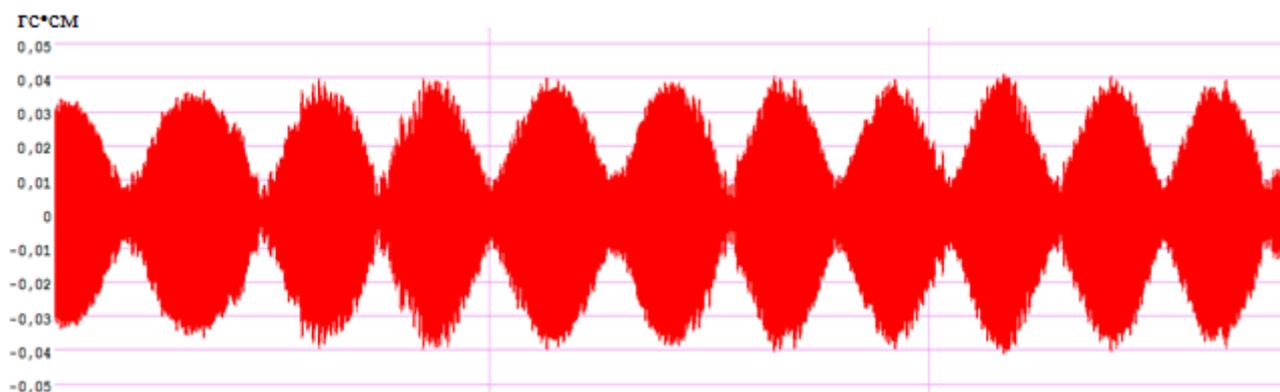


Рис. 5 – Модуляция момента, вызванная разностью скоростей вращения сепараторов двух подшипников опоры

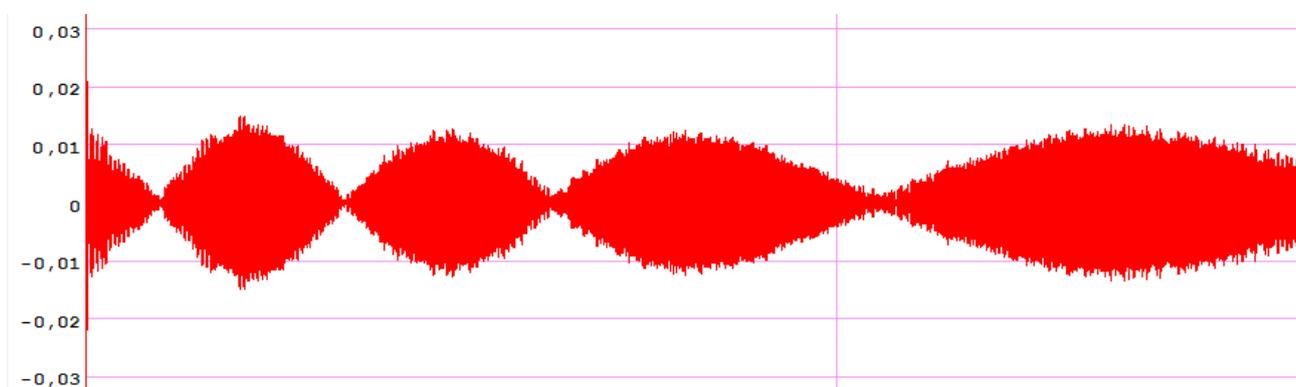


Рис. 6 – Модуляция момента, вызванная разностью скоростей вращения сепараторов двух подшипников опоры при изменении температуры от +60 °С до +40 °С

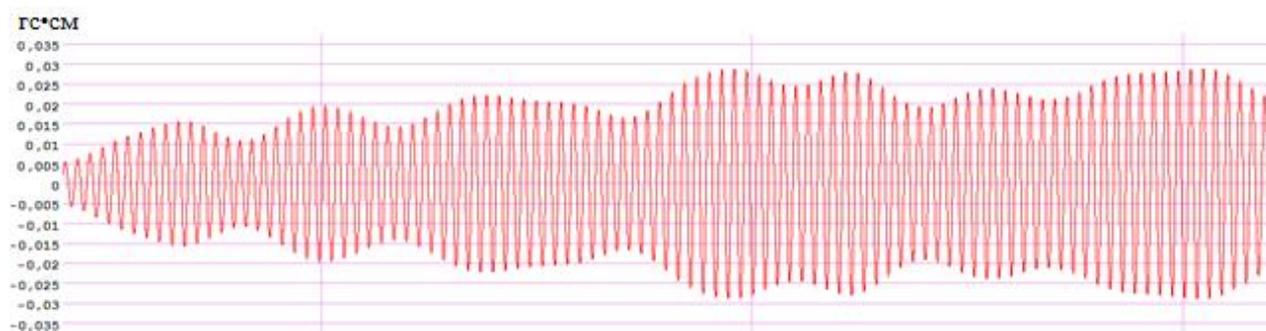


Рис. 7 – Модуляция момента при перекосе колец подшипника



Рис. 8 – Колебания сепаратора

## ◆ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.9.047.7; 669.295

*Астахов Ю.П., Королёв А.Н., Маишков В.Н., Щегольсков В.П., Груздев А.А., Митрюшин Е.А.*

### Гибридная установка для упрочнения поверхности деталей из титановых сплавов

Существуют различные способы поверхностного упрочнения деталей, повышения их коррозионной стойкости и снижения трения сопрягаемых трущихся поверхностей: поверхностная термическая обработка (в том числе лазерное упрочнение), легирование поверхности детали наплавкой сплавов, отвечающих необходимым требованиям, гальваническое нанесение на поверхность детали многофункциональных покрытий, методы поверхностного пластического деформирования и т. д.

Разработанная во ФГУП «НПО «Техномаш» гибридная установка УКЛ-13 (рис. 1) предназначена для упрочнения поверхностей деталей из титановых сплавов:

- микродуговым оксидированием;
- электрохимическим нанесением на поверхность многофункционального композиционного покрытия (ЭМКП) с ультрадисперсными алмазами (УДА);
- электроискровым легированием.

Установка УКЛ-13 позволяет проводить цикл операций по нанесению композиционных покрытий различного типа.

Кроме того, на установке УКЛ-13 может быть выполнено электролитноплазменное полирование и электролитный нагрев с химико-термической обработкой.



Рис. 1 – Установка УКЛ-13

Таблица 1 – Технические характеристики установки УКЛ-13

Мощность установки	5 кВт
Гибридный источник технологического тока	до 500 В
Ёмкость ванн:	до 25 А
– рабочих	40л
– промывочных	20л
Нагрев рабочей жидкости	до 80 °С
Автоподдержание температуры и времени процессов	
Габаритные размеры	2,75X1,420X1,640 мм



Установка УКЛ-13 состоит из двух частей: «Модуля для электролитно-плазменной обработки» и «Блока управления модулем».

Электрооборудование установки УКЛ-13 для упрочнения поверхности деталей из титановых сплавов включает:

- гибридный источник технологического тока ГОРН-Т-ЗК;
- блок подключения электродов для нанесения гальванического покрытия в гальванической ванне;
- блок подключения электродов для нанесения электрохимического микродугового покрытия в ванне;
- блок подключения электродов для нанесения электроискрового покрытия;
- температурный мини-контроллер для регулировки температуры электролита в гальванической ванне;
- пульт управления установкой.

**Микродуговое оксидирование (МДО)** является одним из перспективных направлений получения многофункциональных керамоподобных покрытий с широким комплексом свойств, в том числе износостойких, коррозионностойких, теплостойких, электроизоляционных и декоративных покрытий на поверхности деталей из металлов вентильной группы и их сплавов: титана,

магния, тантала, циркония, ниобия, бериллия, но, прежде всего, – для алюминия.

**Электронискровое легирование (ЭИЛ)** является одним из способов легирования поверхности детали. Оно позволяет повысить твердость, износостойкость, жаростойкость, коррозионную стойкость деталей машин и эрозионную стойкость поверхностей электроконтактов, снизить коэффициент трения трущихся поверхностей, а также производить ремонт и восстанавливать размеры изношенной детали, придав ее поверхностному слою новые свойства.

**Электрохимическое осаждение многофункционального композиционного покрытия (МКП) с ультрадисперсными алмазами (УДА).**

**Композиционное электрохимическое покрытие (КЭП)** является одним из актуальных направлений современной гальванотехники.

КЭП состоит из металлического покрытия и внедренного в него наполнителя, в нашем случае ультрадисперсных наноалмазов. Подобные покрытия находят широкое применение для защиты от коррозии, увеличения ресурса деталей пар трения-скольжения в различных отраслях промышленности.

Никель-алмазные покрытия могут служить до 20 раз дольше деталей с чисто никелевым покрытием.

УДК 629.78; 621.9; 621.01

*Митрюшин Е.А., Груздев А.А., Королёв А.Н., Щегольсков В.П.*

### **Электрохимическое осаждение многофункционального композиционного покрытия с ультрадисперсными алмазами**

Во ФГУП «НПО «Техномаш» разработан электролит для нанесения гальванических покрытий на титан при комнатной температуре. В состав электролита вошли следующие компоненты:

- NiSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (никель серноокислый) – 30 г/л;
  - (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (аммоний щавелевокислый) – 60 г/л;
  - NaF (натрий фтористый) – 15 г/л;
  - CH<sub>3</sub>COONa (натрий уксуснокислый) – 20 г/л;
  - NaBr (натрий бромистый) – 2 г/л;
- Параметры процесса:  $i_k=3-20$  а/см<sup>2</sup>; Ph=4,5-8,0; t°С=18-60.

Данный электролит опробован при никелировании образцов из титана.

Достоинства:

- возможность работы в широком диапазоне температуры – от комнатной до 60°С;
- возможность работы в диапазоне Ph от 4,5 до 8,0;
- возможность работы при плотностях тока от 3 до 20 а/см<sup>2</sup>.

Недостатком данного состава является невозможность получить качественное покрытие толщиной более 7 мкм.

В целях увеличения толщины и качества наносимого покрытия с использованием данного электролита было предложено вводить в его состав ультрадисперсные алмазы (УДА) – ядро из классического алмаза в углеродной оболочке. Проверены концентрации 5, 10 и 15г/л. Установлено, что повышение концентрации свыше 10г/л

не оказывает положительного влияния на качество покрытия.

Известно, что основная масса УДА существует в виде конгломератов – слипшихся наночастиц размером до 0,02 мкм. Для равномерного распределения УДА и разрушения конгломератов была использована ультразвуковая ванна, в которой проводился гальванический процесс. Наличие в растворе частиц УДА во время электрохимического осаждения никеля, благодаря гидродинамическому и электростатическому факторам, позволяет получить поверхность более высокого качества, увеличить выход по току до 20% и скорость осаждения в два раза по сравнению с гальваническим процессом без ультразвука и УДА. Объясняется такое повышение производительности, снятием ультразвуком пассивирующей плёнки и интенсивным перемешиванием раствора.

Формирование покрытий, осаждаемых электрохимическим методом, проводили на электрохимическом макете технологического модуля. В качестве рабочей жидкости использовался электролит на основе дистиллированной воды с добавлением КОН в количестве 2 г/л, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (перекись водорода) в количестве 2 г/л, K<sub>2</sub>O(SiO<sub>2</sub>) (жидкое стекло) в количестве 2 г/л.

Покрытия наносились на образцы в виде дисков Ø60х5 мм из ВТ5 при частоте тока 50 Гц и напряжении. Продолжительность процесса составила до 90 мин.

УДК 629.78:621.9:621.01

Астахов Ю.П., Груздев А.А., Королёв А.Н., Митрюшин Е.А., Щегольсков В.П., Машкина И.В.

### Прошивочно-вырезной полуавтомат для электроэрозионной электрохимической вырезки стопорных колец модели ЭП310ПВ

В современном производстве ракетно-космической техники (РКТ) остро стоит проблема точной вырезки деталей сложного профиля и малых размеров из труднообрабатываемого листового металла (36НХТЮ, ЭП79С). Одной из таких является деталь АО РКЦ «Прогресс» «Стопорное кольцо» (рис. 1).

Одним из перспективных методов получения данных деталей является метод электроэрозионной обработки, а именно электроэрозионная проволочно-вырезная операция. Однако после электроэрозионной вырезки на поверхности реза образуется дефектный слой (микротрещины), приводящий к усталостному разрушению детали. Величина дефектного слоя лежит в пределах 1–10 мкм в зависимости от режимов обработки.

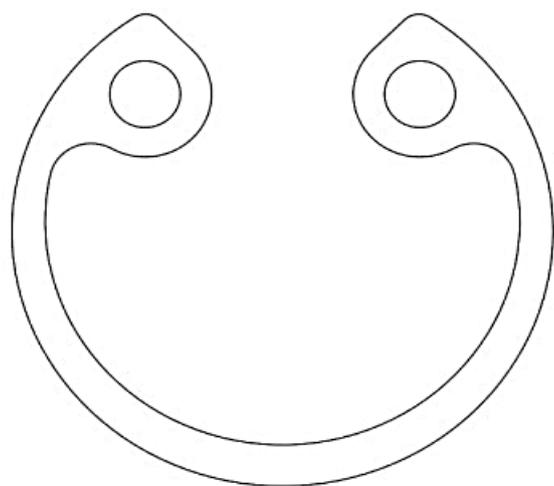
Специалистами отделения физико-химических и вакуумных технологий предложено решение данной проблемы посредством электрохимической обработки, удаляющей дефектный слой. Проведены металлографические исследования данной технологии, показывающие отсутствие дефектного слоя на обработанной поверхности.

По данной теме с АО РКЦ «Прогресс» заключён договор на разработку полуавтомата прошивочно-вырезного для электроэрозионной электрохимической вырезки

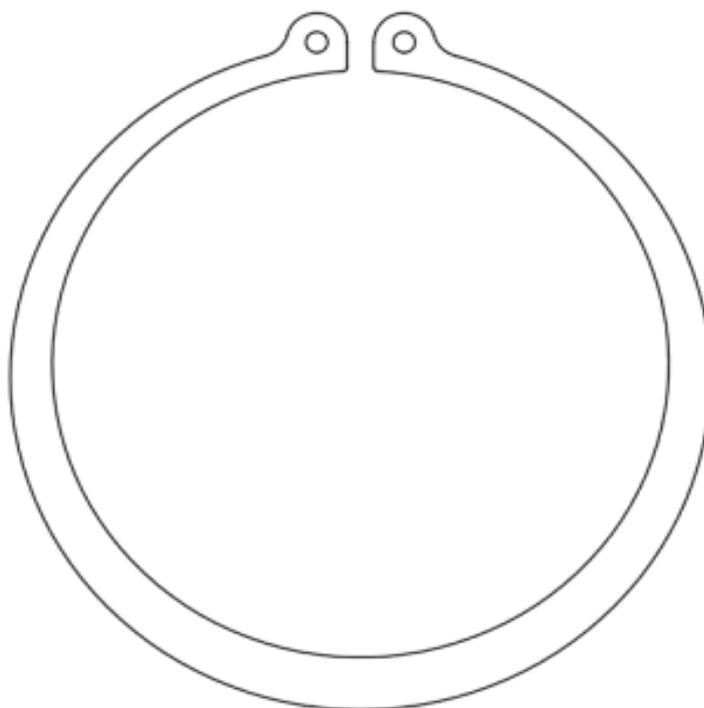
стопорных колец модели ЭП310ПВ (рис. 2).

Полуавтомат оснащён устройством числового программного управления (УЧПУ) российского производства «Титан», которое позволяет управлять быстродействующими компактными бесщёточными приводами подачи и регулируемым источником технологического тока. Использование УЧПУ и регулируемого источника технологического тока позволяет за счёт использования нестандартного математического обеспечения оптимизировать рабочий зазор при электроэрозионной вырезке посредством контроля среднего тока обработки.

Полуавтомат обеспечивает не только электроэрозионную вырезку деталей, но и прошивку технологических отверстий. По окончании электроэрозионной проволочной вырезки детали подаются на позиции для снятия дефектного слоя электрохимическим способом. Также обеспечена автоматизированная подача и очистка рабочей жидкости (для электроэрозионной проволочно-вырезной операции) и электролита (для электрохимической обработки). Полуавтомат оснащён автоматизированной заправкой и отрезкой электрода-проволоки (подана заявка на полезную модель). Основные характеристики полуавтомата приведены в табл. 1.



а) кольцо для отверстия



б) кольцо для вала

Рис. 1 – Стопорные кольца

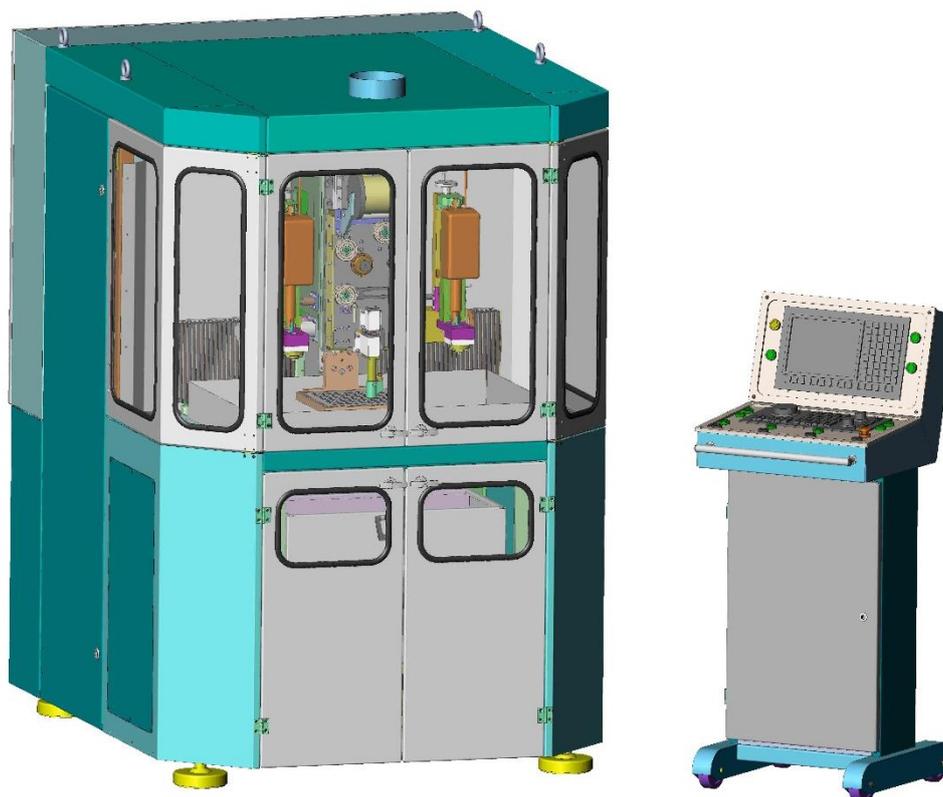


Рис. 2 – 3D модель полуавтомата ЭП310ПВ

Таблица 1 – Основные характеристики полуавтомата ЭП310ПВ

Наименование параметра	Значение
Перемещение по координатам X, Y, Z, мм	480 x 220 x 100
Максимальный размер заготовки, мм	220 x 220 x 50
Максимальный вес заготовки, кг	20
Диапазон диаметров обрабатываемых колец, мм	5–210
Класс точности размеров	H7
Шероховатость получаемой поверхности, мкм	Ra 0,63
Материалы заготовок	стали: 65Г, 60С2А, 40Х13 сплавы: 36НХТЮ, ЭП79С
Габаритные размеры В x Ш x Г	1860 x 1220 x 1550
Параметры режимов электроэрозионной вырезки	
Средний ток обработки, А	0,5–20
Напряжение обработки, В	80–200
Длительность импульса по току, мкс	0,3–10
Частота следования импульсов, кГц	1–200
Источник питания для режима электрохимии. Режим работы: источник тока, источник напряжения; постоянный и импульсный ток	
Средний ток обработки, А	1–100
Напряжение обработки, В	5–40
Длительность импульсов, мкс	1–3000
Частота следования импульсов, Гц	1–50

УДК 629.78:621.01

*Астахов Ю.П., Перепечкин А.А., Королёв А.Н., Опальницкий А.И.*

### **Многокоординатная обработка композиционных и хрупких материалов алмазным инструментом с наложением ультразвуковых колебаний**

Современная ракетно-космическая техника (РКТ) немислима без полимерных композиционных материалов. Их применение позволяет снизить вес изделия (ракеты, космического корабля) на 10...50% в зависимости от типа конструкции и, соответственно, сократить расход топлива, повысив при этом надёжность. Ультразвуковая обработка вращающимся алмазным инструментом даёт возможность получать отверстия и пазы в деталях из композиционных углерод-углеродных (С-С), углерод-силицидных материалов и керметов без повреждений и расслоений. Также возможно получение отверстий малого диаметра, близко расположенных относительно друг друга.

Во ФГУП «НПО «Техномаш», уже более 78 лет занимающегося производством новых технологий и оборудования, для производства РКТ создан и апробирован многокоординатный ультразвуковой станок (рис. 1) с вращающимся алмазным инструментом для обработки хрупких и композиционных материалов (керамика, ситалл, поликор, углерод-углерод и др.).

Возможности нового многокоординатного ультразвукового станка:

– получение объёмных поверхностей за счёт использования сконструированного устройства поворота и

вращения детали, также можно выполнять операции фрезерования, расточки, прошивки;

– оснащение абсолютно новой запатентованной вращающейся ультразвуковой головкой с частотой вращения до 12 000 мин<sup>-1</sup>, что позволяет повысить производительность обработки;

– оснащение новым, специально разработанным генератором с пьезокерамическим преобразователем, обладающим высоким КПД.

Основные преимущества ультразвуковой технологии и оборудования:

1. Обработка деталей из керамических, композиционных, редкоземельных материалов, керметов и углепластиков по схемам сверления, фрезерования, расточки в автоматическом режиме (возможность 3D обработки).

2. Обеспечение минимальной шероховатости обработанной поверхности, Ra=0,2 мкм.

3. Отсутствие после обработки остаточных напряжений, приводящих при использовании других способов к образованию трещин и расслоений на обрабатываемой поверхности.

4. Сверление глубоких отверстий, более 20d.

5. Использование при обработке специального алмазного инструмента диаметром от 0,5 мм.

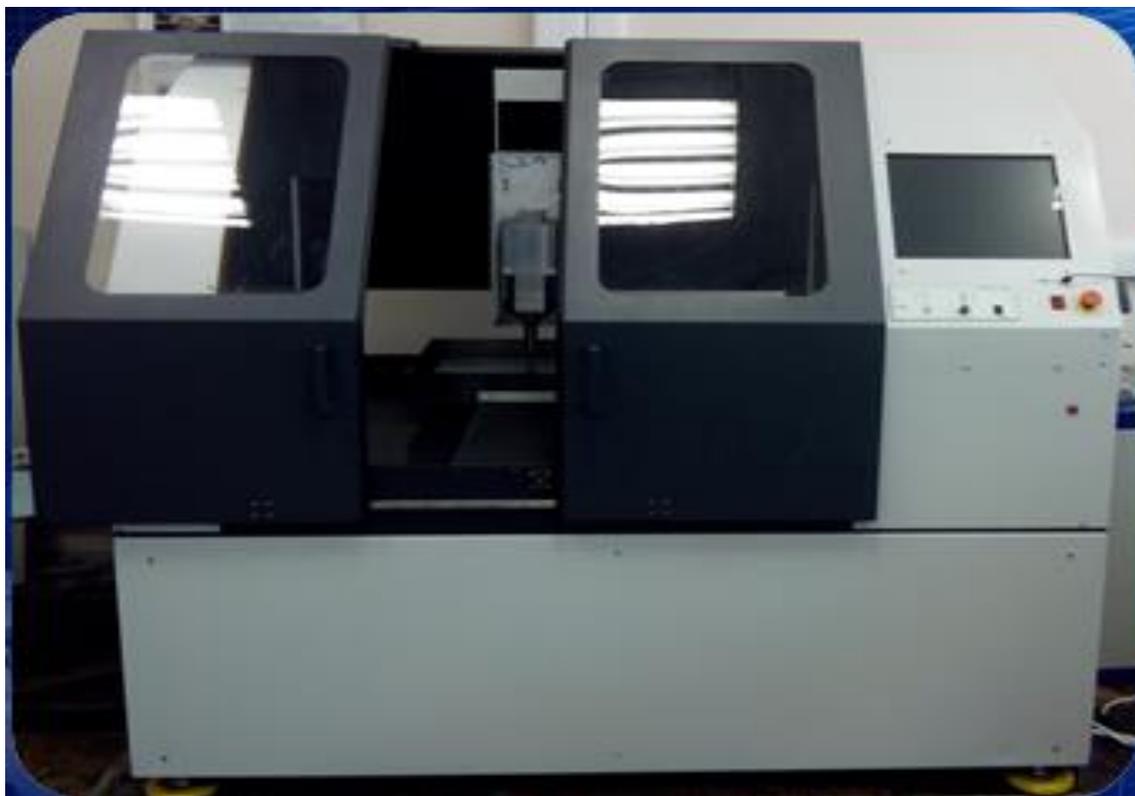


Рис. 1 – Пятикоординатный ультразвуковой станок (МУЗС-1)

## ◆ КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 621.7

*Долгополов М.И., Корнилов В.А.*

### Применение градиентного нагрева при гибке с узкозональным индукционным нагревом труб изделий РКТ

Стремление к снижению массы изделий ракетно-космической техники (РКТ) приводит к непрерывному уменьшению толщины стенок труб, используемых при изготовлении трубопроводов, за счёт применения специальных высокопрочных сталей, для повышения качества гибки которых необходимо совершенствовать технологию гибки с узкозональным индукционным нагревом.

Сущность такого способа гибки заключается в непрерывно-последовательном изгибе узкого, разупрочнённого нагрева под действием интенсивного электромагнитного поля, участка трубы. Труба с постоянной скоростью проталкивается сквозь кольцевой нагреватель (индуктор) и нагревается токами высокой частоты. Одновременно с нагревом и проталкиванием к трубе прикладываются усилия, вызывающие изгиб трубы. При этом пластический изгиб трубы происходит только в зоне нагрева, так как предел текучести материала трубы снижается в несколько раз по сравнению с его значением у холодной части трубы. Это позволяет производить гибку труб из материалов, не допускающих деформирование в холодном состоянии, с коротким временем нагрева. Основные схемы гибки с индукционным нагревом: гибка роликом и гибка водилом приведены на рис. 1а,б.

Одним из наиболее распространённых дефектов, возникающих при гибке труб с узкозональным индукционным нагревом, является утонение стенки – явление уменьшения толщины стенки трубы на наружной сторонегиба, происходящее из-за перераспределения металла по сечению трубы при деформировании. Утонение стенки негативно сказывается на способности трубопровода выдерживать высокое давление и его надёжности при

работе в экстремальных условиях, характерных для РКТ.

Во ФГУП «НПО «Техномаш», в рамках диссертационной работы, разработана технология применения градиентного нагрева при гибке труб с узкозональным индукционным нагревом, позволяющая снизить утонение стенки трубы при гибке. Это повышает прочность и надёжность работы трубопровода. В большинстве случаев предельное утонение стенки определяет предельный радиус изгиба трубы. Уменьшение утонения даёт возможность получать гибы меньшего радиуса либо использовать трубы с меньшей начальной толщиной стенки, что позволяет снизить массу агрегатов РКТ.

Сущность градиентного нагрева состоит в увеличении температуры нагрева зоны сжатия (внутренний радиусгиба) и уменьшении – в зоне растяжения (внешний радиусгиба). В результате нейтральная линия деформацией смещается в сторону зоны растяжения, благодаря чему уменьшаются деформации растяжения, а значит и утонение стенки.

Применение градиентного нагрева в большинстве случаев позволяет уменьшить утонение стенки трубы на 5-10%, по сравнению с гибкой при постоянной температуре нагрева.

Данный метод был теоретически обоснован, создана математическая модель гибки, основанная на теории обработки металлов давлением и позволяющая с высокой точностью предсказать остаточную толщину стенки при применении градиентного нагрева в зависимости от геометрических размеров изгибаемой трубы, механических характеристик материала трубы при высоких температурах, а также от степени и вида применяемого градиентного нагрева.

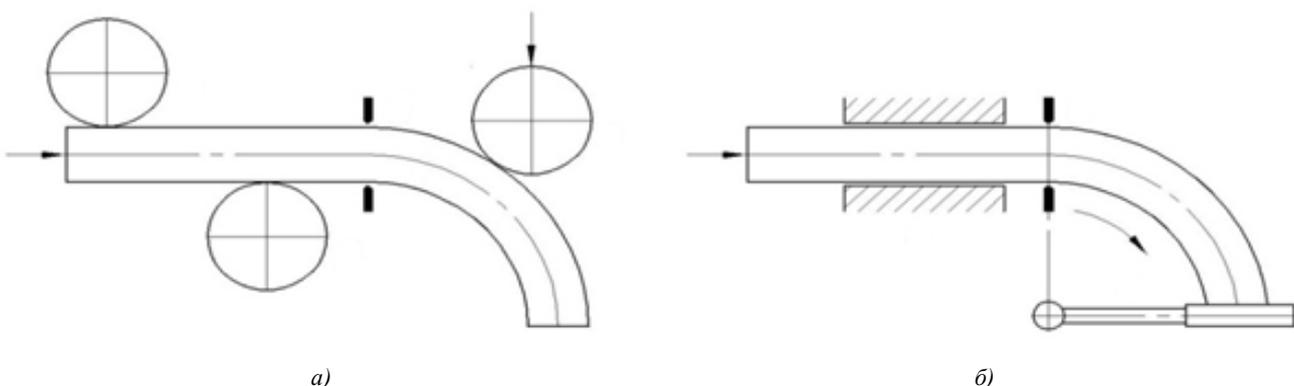


Рис. 1 – Основные техпроцессы гибки трубопроводов с использованием индукционного нагрева:

а) гибка роликом; б) гибка водилом

Для применения градиентного нагрева при гибке на автоматизированных трубогибочных станках с ЧПУ, например, на станке СГИН-120, разработано индукционное устройство, создающее и контролирующее оптимальные параметры градиентного нагрева в автоматическом режиме (рис. 2).

Индукционное устройство содержит трансформатор 1, размещённый на опорном узле 2 трубогибочного станка, индуктор 3, на котором напротив друг друга в плоскости изгиба установлены датчики 4 и 5 контроля распределения температуры нагрева изгибаемой трубы по ее сечению.

Для создания градиентного нагрева трансформатор 1

перемещается в плоскости, перпендикулярной оси трубы по направляющим опорного узла 2, создавая эксцентриситет  $e$  кольца индуктора 3 относительно изгибаемой трубы (рис. 3). Регулировкой эксцентриситета  $e$ , при изменении которого изменяются зазоры между индуктором 2 и трубой на внутренней и наружной сторонахгиба, устанавливается разность температур – градиент нагрева между температурами нагрева зон растяжения и сжатия.

В ходе гибки система ЧПУ трубогибочного станка, перемещениями трансформатора 1, поддерживает оптимальный градиент температуры нагрева в автоматизированном режиме, контролируя его с помощью датчиков температуры 4, 5.

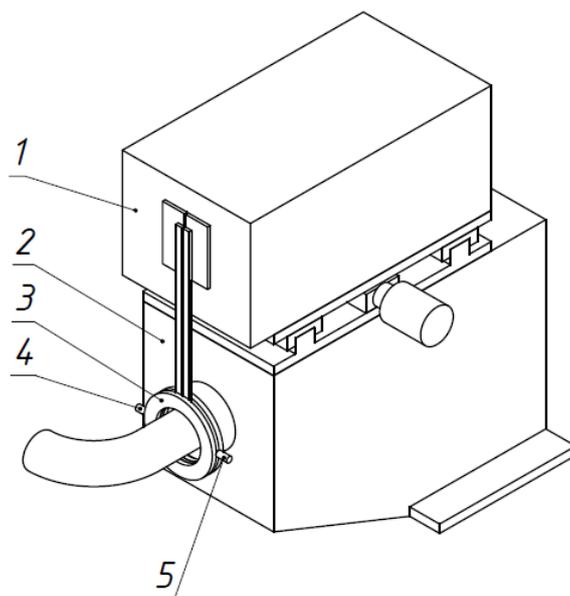


Рис. 2 – Индукционное устройство для применения градиентного нагрева

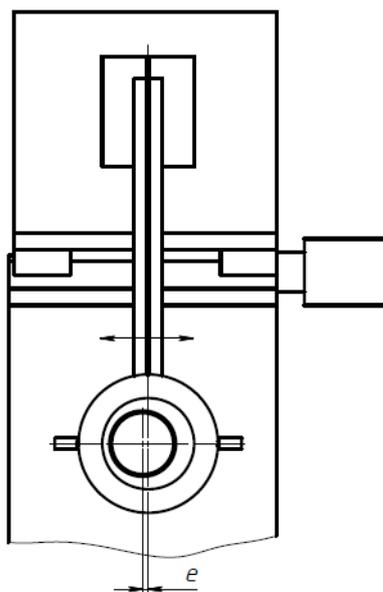


Рис. 3 – Схема работы индукционного устройства



УДК 629.78

*Макаров И.И.*

### **Измерение геометрии сопловых блоков ЖРД модулем контроля геометрических характеристик крупногабаритных изделий МК-4000**

Модуль контроля геометрических характеристик крупногабаритных изделий МК-4000 предназначен для высокоточного контроля размеров геометрии путём обмера внешних и внутренних поверхностей сопловых блоков жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) без применения сложной технологической оснастки, изготавливаемой индивидуально для каждого типа изделия.

Данный модуль используется для определения теоретического вектора тяги соплового блока ЖРД посредством измерения облака точек на внутренних поверхностях изделия при детекции погрешности базирования блока, инспектирования погрешности изготовления, отклонения формы под воздействием температурных или иных деформаций, взаимного расположения геометрии

путём замера независимого массива точек изделия или методом сравнения с трёхмерной математической моделью объекта измерения.

Модуль контроля МК-4000 применяется в ракетно-космической промышленности и имеет единичное производство.

Входит в состав измерительного комплекса АСБЖРД, который включает в себя две базовые операции в цикле контроля и испытаний ЖРД: статическую балансировку на автоматизированном стенде балансировки ЖРД и контроль геометрических параметров модулем контроля МК-4000.

CAD модель общего вида измерительного комплекса АСБЖРД с установленными макетом и переходником приведена на рис.1.

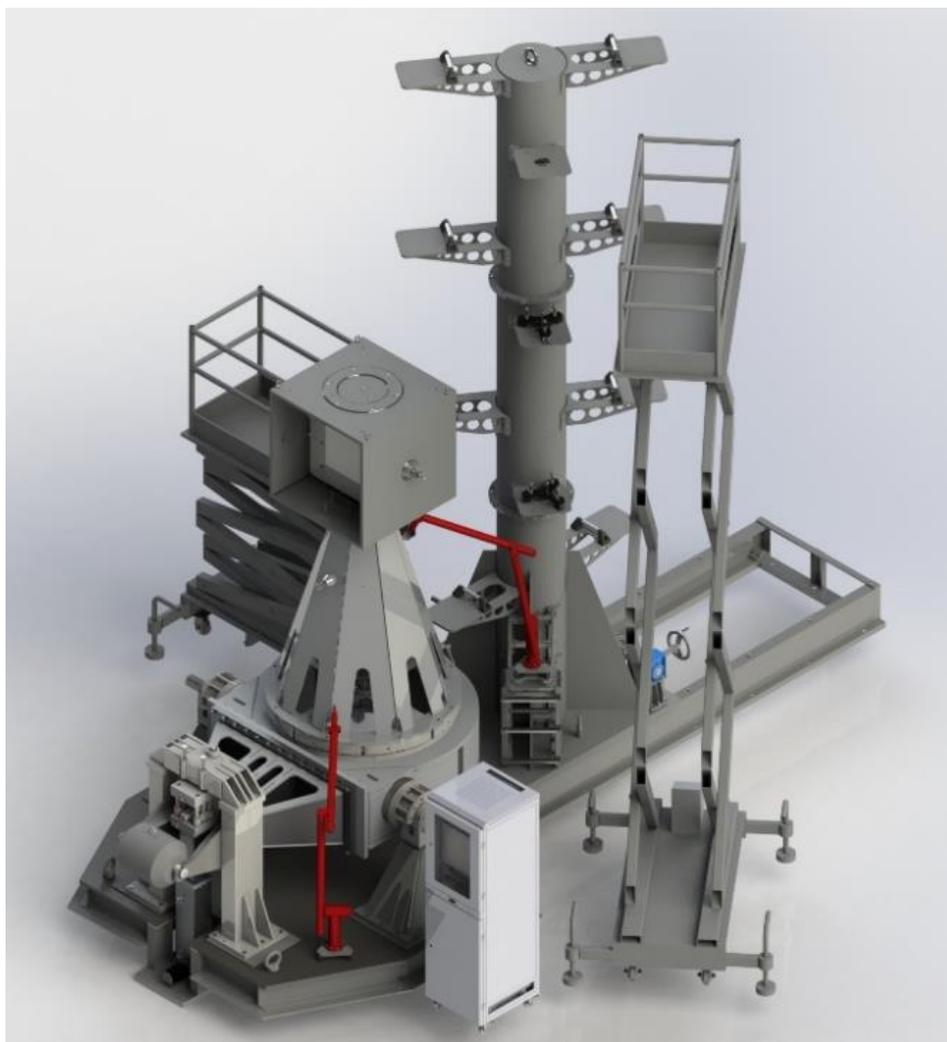


Рис.1 – CAD модель общего вида измерительного комплекса АСБЖРД с установленными макетом и переходником

Контроль геометрии и определение теоретического вектора тяги сопловых блоков ЖРД осуществляется косвенным методом путём расчёта по результатам определения линейных и угловых размеров изделия с использованием координатно-измерительной машины модели AMPG36(P) мобильной серии типа «Рука» фирмы ZETT MESS и программно-математического обеспечения PowerINSPECT 2015. Модуль МК-4000 включает в себя две машины данного типа.

Устройство и принцип работы модуля МК-4000.

Общий вид измерительного комплекса АСБЖРД с установленным изделием приведён на рис.2.

Измерительный комплекс АСБЖРД с установленным изделием (поз.5, рис. 2) включает в себя следующие устройства:

- автоматизированный стенд балансировки ЖРД (поз. 1);
- модуль контроля геометрических характеристик крупногабаритных изделий МК-4000 (поз. 2);
- программно-аппаратный комплекс (поз. 3);
- ножничный подъёмник (поз. 4).

В полном цикле измерений контроль геометрических параметров изделия (поз. 5) модулем МК-4000 (поз. 2) осуществляется после проведения операции статической балансировки на стенде (поз. 1).

Для проведения операции обмера геометрии, изделие (поз. 5) при необходимости поворачивается на заданный угол поворотным подшипником (поз. 7), положение фиксируется фиксатором (поз. 6).

Устройство модуля МК-4000 приведено на рис. 3.

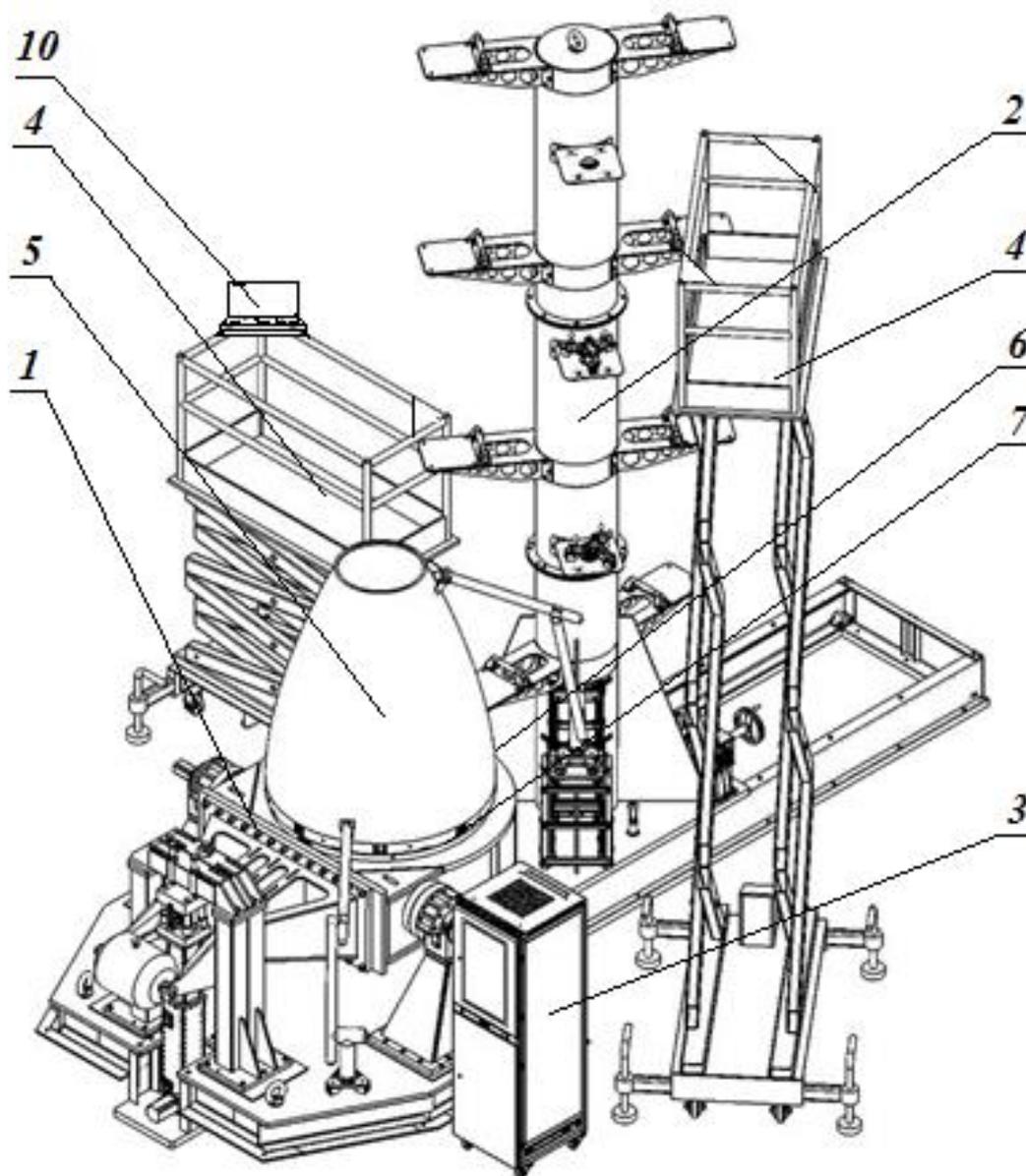


Рис.2 – Общий вид измерительного комплекса АСБЖРД с установленным изделием

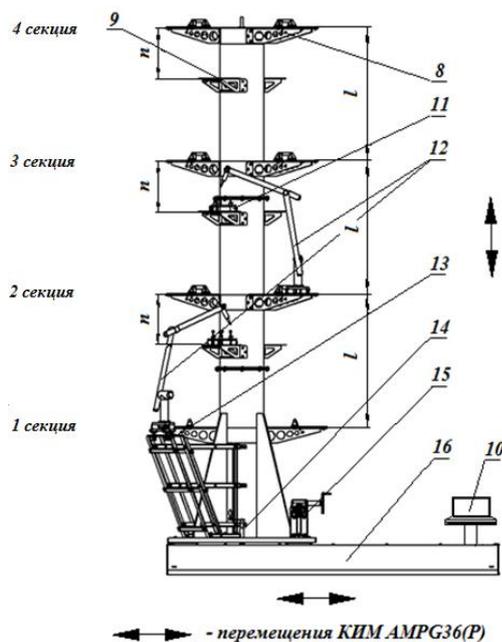


Рис.3 – Устройство модуля МК-4000

Принцип работы модуля МК-4000 основан на пошаговом перемещении мобильной координатно-измерительной машины АМРG36(Р) типа «рука» (поз. 12) с помощью устройства перемещения (поз. 11), выполняющего функцию математического «скачка». Данная функция необходима для входа КИМ АМРG36(Р) из собственной, пространственной системы координат в пространственную систему координат сфер, расположенных на устройстве перемещения (поз. 11), для привязки к ней и проведения следующего этапа геометрических измерений после переустановки машины. «Базовая» система координат

КИМ АМРG36(Р) определяется на выведенном в горизонтальный «уровень» регулируемом столе (поз. 13). Стол предназначен для калибровки и «разогрева» измерительного оборудования, что необходимо при каждом включении, а также проведении первого этапа измерений при определении внешних базовых геометрических элементов. Фиксация измерительного оборудования осуществляется магнитными основаниями, что позволяет задействовать устройства в любом положении на ровной поверхности. Помимо магнитных оснований, КИМ АМРG36(Р) комплектуется мобильной треногой (рис. 4) с опорной фиксацией и столом для установки ноутбука.



Рис.4 – КИМ АМРG36(Р) с установленной мобильной треногой

Пошаговое перемещение осуществляется перестановкой КИМ АМРГ36(Р) (поз. 12) по платформам для КИМ (поз. 8), расположенных с равным шагом (1) вдоль вертикальной оси модуля, что необходимо для обеспечения высокоточных геометрических измерений по всей длине (высоте) внешнего контура крупногабаритных изделий (поз. 5, рис. 2). Подъём КИМ АМРГ36(Р) с установкой на платформы для КИМ (поз. 8) осуществляется оператором на ножничных подъёмниках (поз. 4, рис. 2). Устройство перемещения (поз. 11) надёжно фиксируется магнитными основаниями на платформах для сфер (поз. 90), что позволяет минимизировать погрешность переустановки КИМ АМРГ36(Р). Равноудалённое расположение и наименьшее достаточное расстояние (n) платформ для сфер (поз. 9) относительно платформ для КИМ (поз. 8) позволяет учесть конструктивные особенности КИМ АМРГ36(Р) при выполнении «скачка».

Модуль контроля МК-4000 (поз. 2) также позволяет учесть ширину измеряемого изделия (поз. 5, рис. 2). Перемещение осуществляется по швеллерам (направляющим) рамы фундаментной (поз. 16, рис. 3), установленной и зафиксированной относительно стенда (поз. 1, рис. 2) на железобетонном фундаменте или развязном железобетонном фундаменте. Продольное движение модуля контроля МК-4000 (поз. 2) производится установленным редуктором (поз. 15, рис. 3). Модуль выставляется относительно габаритов изделия (поз. 5, рис. 2) и плотно фиксируется штоком (поз. 14, рис. 3).

Управление КИМ АМРГ36(Р) осуществляется посредством мобильного персонального компьютера (ПК) с установленным программным математическим обеспечением (ПМО) PowerINSPECT2015 и необходимым драйвером

Zett2 (REFERENCE). ПМО осуществляет настройку оборудования, определяет систему координат и начало отсчёта, контролирует различную геометрию, отклонения формы и взаимного расположения, измеряет положение массива точек на объекте исследования. Также позволяет инспектировать сложные криволинейные поверхности методом сравнения их с САД моделью. Модуль для создания отчётов позволяет оформить результаты как в графическом, так и текстовом виде. Калибровка оборудования осуществляется драйвером путём ручного вращения шарнирных устройств координатно-измерительной машины.

Наряду с внешним контролем геометрических параметров, модуль имеет возможность обмера внутренней геометрии изделия (поз.5, рис. 1), необходимого для расчёта теоретического вектора тяги при определении погрешности базирования на автоматизированном стенде балансировки ЖРД вследствие температурных деформаций, сопловых блоков ЖРД в единой системе координат. На рис. 5 приведён обмер внутренней геометрии сопловых блоков ЖРД.

Обмер осуществляется одной из КИМ АМРГ36(Р) по внутреннему контуру с собственной системой управления посредством мобильного ПК. Для этого машина устанавливается и фиксируется на магнитных основаниях к раме стенда относительно оси поворотного подшипника. Допускается проводить измерения внутренних поверхностей сопла с отклонением интерфейсной плоскости планшайбы от уровня горизонта на угол от  $0^{\circ}$  до  $20^{\circ}$  поднятой независимо от оси поворотного подшипника.

Измерения внешнего и внутреннего контура изделия могут проводиться одновременно и независимо друга от друга.

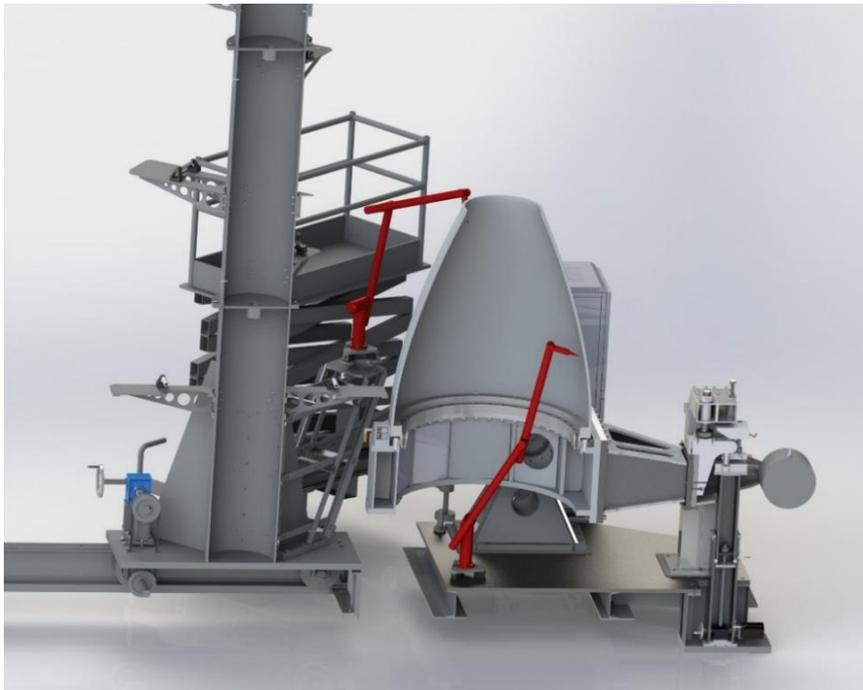


Рис.5 – Обмер внутренней геометрии сопловых блоков ЖРД



УДК 621.9.06-229.33.001.24

Шемякин С.С.

## Экспериментальное исследование жесткостных и динамических характеристик токарного станка малых размеров

Шпиндельный узел (ШУ) станка в значительной мере определяет динамическое качество станка в целом. Поэтому изучение и учёт динамических свойств ШУ является важной задачей как при проектировании, так и при эксплуатации станка.

Шпиндельный узел является самостоятельным элементом и при приёмо-сдаточных испытаниях должен оцениваться без дополнительной сменной технологической оснастки. Это значительно упрощает решение конфликтов между поставщиком и заказчиком. В процессе эксплуатации на узел навешивается различная технологическая оснастка для крепления детали или инструмента. Для токарных станков такой оснасткой чаще всего является патрон, который сам по себе представляет сложную динамическую систему и может существенно менять характеристики ШУ.

Схема измерения статической жесткости показана на рис. 1.

Нагрузка прикладывалась к детали, зажатой в патроне, а деформации измерялись в точках 1...4 на детали, кулачках, патроне и фланце шпинделя. Значения податливостей в точках измерения даны в представленной таблице.

В третьей колонке таблицы дан баланс податливости

по элементам, из которого видно, что кулачки составляют 63%, а патрон (корпус) 34% в суммарной податливости на детали.

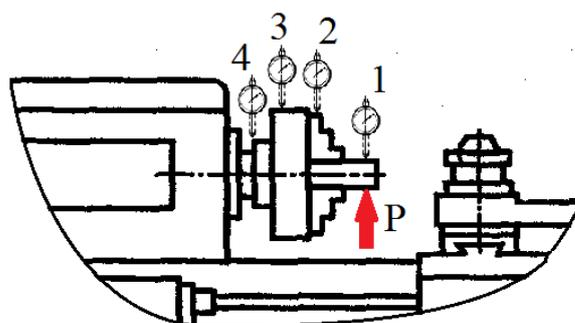


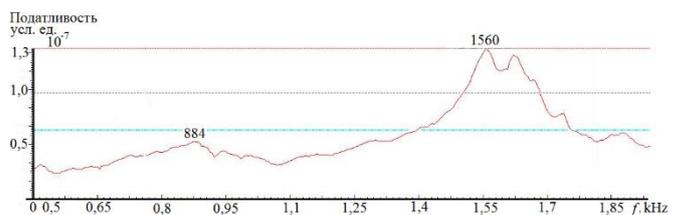
Рис. 1 – Схема нагружения и измерения деформаций ШУ станка мод. Д6000:

1 – заготовка; 2 – зажимной кулачок патрона;  
3 – корпус трехкулачкового патрона; 4 – фланец шпинделя

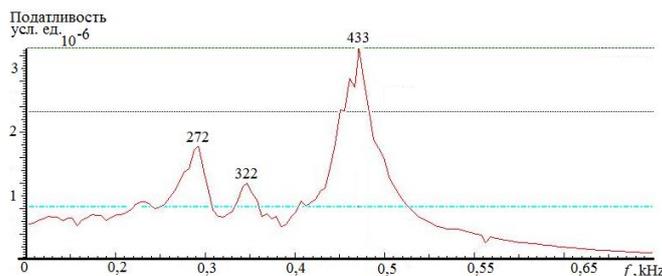
Экспериментальные динамические характеристики ШУ определялись методом импульсного нагружения. Исследовался ШУ как с патроном и заготовкой, так и без патрона. Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) для этих случаев показаны на рис. 2.

Таблица – Результаты измерения податливости в различных точках шпиндельного узла

Точки измерений	Податливость, мкм/Н	Баланс, %	Расчет	Жесткость, Н/мкм
4–Фланец шпинделя	0.004	3	0.05	250.0
3–Корпус патрона	0.042	34		23.8
2–Кулачки	0.079	63		12.7
1–Заготовка	0.125	100		8.0



а)



б)

Рис. 2 – АЧХ шпиндельного узла без патрона (а) и с трехкулачковым самоцентрирующим патроном (б)

Видно, что навешивание патрона кардинально меняют АЧХ. Если без патрона видны две резонансные частоты 884 и 1560 Гц, то наличие патрона снижает резонансные частоты до диапазона 270...430 Гц.

Для прогнозирования динамических характеристик ШУ при обработке различных деталей, закрепленных в патроне целесообразно сформировать расчетную модель ШУ, на которой можно варьировать различные наладки. Расчетную модель ШУ удобно строить в программе SpinDynaFE, разработанной в МГТУ «СТАНКИН». Однако модель патрона до настоящего времени не применялась. Эта программа выполняет расчёт статических и динамических характеристик одномерных балочных систем с центральной осью  $X$  вдоль длины балки. Возможна комбинация нескольких балок, имеющих единую центральную ось (например, гильзованные ШУ). Деформации рассчитывались в узловых точках, лежащих в радиальной плоскости ( $XOY$ ), проходящей через центральную ось балки. Каждая узловая точка обладает двумя степенями свободы – радиальным смещением  $Y$  и поворотом вокруг оси  $Z$ , перпендикулярной плоскости  $XOY$ . Расчёт выполнялся методом конечных элементов. Элементы модели выбирали из следующего набора:

- пролёт – участок балки (тела шпинделя), имеющий постоянное сечение, которое может быть произвольной формы с внецентренными отверстиями и пазами;

- опора – шпиндельный подшипник с радиальной и угловой жесткостью;
- масса – детали, закрепляемые на шпинделе жестко или через упругую связь;
- стык – упруго-демпфирующее соединение деталей.

Исходными данными для формирования модели являются эскиз ШУ с основными размерами, которые часто определяют непосредственным измерением объекта. Подробный чертёж не требуется.

Эскиз патрона показан на рис. 3, а. Патрон состоит из корпуса 4, в котором закрепляется улитка 2, несущая кулачки 1.

Расчётная модель патрона представлена на рис. 3б. Корпус (4) патрона моделируется элементом: пролёт; улитка (2), которую в свою очередь также можно описать с помощью пролёта с добавлением инерционной составляющей (масса и момент инерции). Наибольшую сложность представляет моделирование кулачков, так как в программе не предусмотрено 3D моделирование. Предлагается заменить три кулачка втулкой-фланцем с эквивалентными моментами сопротивления. Сечение эквивалентной втулки показано на рис. 3в.

Элементы модели соединяются упругодемпфирующими связями, параметры которых определяются на основе экспериментов.

На рис. 4а показаны расчётная (1) и экспериментальная (2) АЧХ ШУ без патрона, а на рис. 4б – экспериментальная и расчётная АЧХ ШУ с патроном и заготовкой.

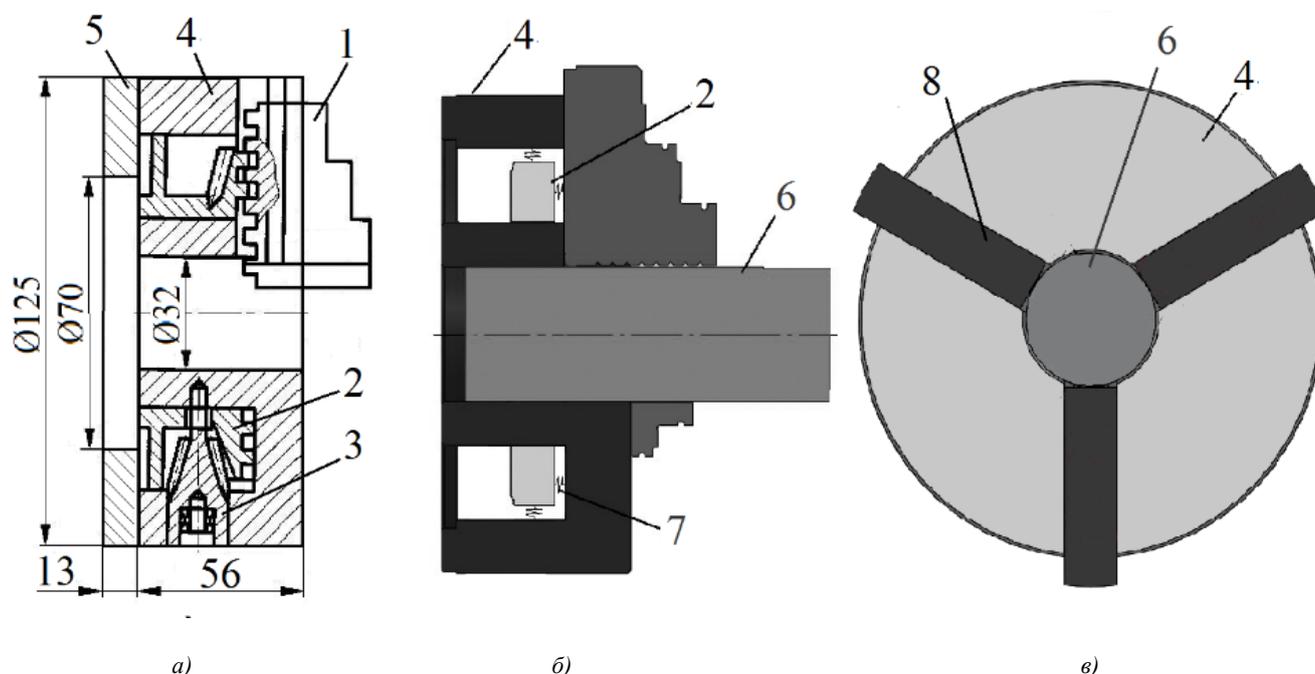
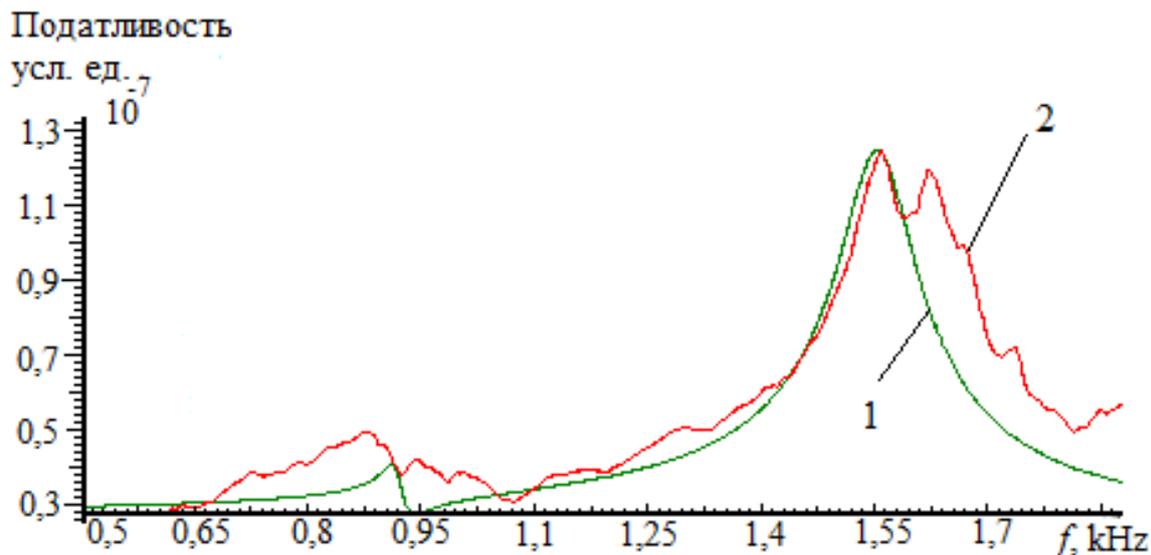
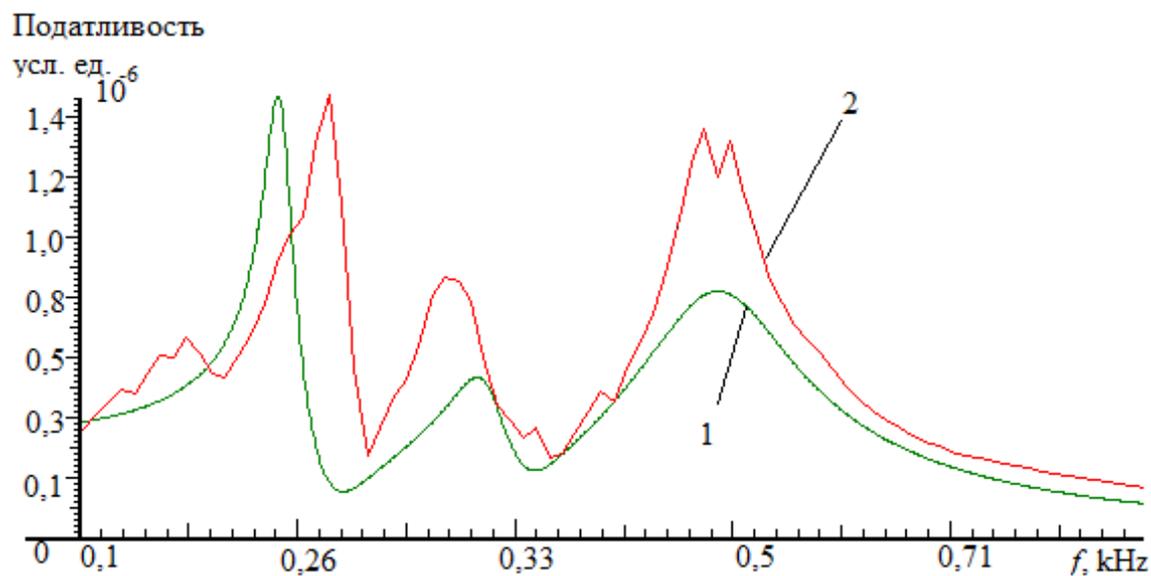


Рис. 3 – Трёхкулачковый патрон токарного станка мод. D6000: эскиз патрона (а), модель патрона (б), эквивалентная модель кулачков (в); 1 – кулачок; 2 – улитка; 3 – зубчатое колесо; 4 – корпус; 5 – переходной фланец; 6 – заготовка; 7 – пружины, отражающие жёсткость соединения улитки с кулачками; 8 – эквивалентные втулки



а)



б)

Рис. 4 – Расчётная (1) и экспериментальная (2) АЧХ ШУ без патрона (а) и с патроном и заготовкой (б)

Таким образом, оснастка, например, в виде трёхкулачкового патрона, существенно изменяет динамические характеристики шпиндельного узла. Представление патрона в динамической модели в виде сосредоточенной массы не всегда оправдано и может дать искажённые результаты расчёта. Предлагаемая динамическая модель патрона больше приближена к реальным условиям и позволяет точнее идентифицировать инерционные и жесткостные параметры модели. Использование описанной методики моделирования помогает улучшить динамические характеристики ШУ при модернизации, а также способствует оперативной диагностике состояния подшипников ШУ.

#### Выводы:

1. Наличие технологической оснастки в виде трёхкулачкового патрона оказывает существенное влияние на жесткость шпиндельного узла в зоне резания. При жесткости на фланце шпинделя 250 Н/мкм жесткость на заготовке в зоне резания составляет лишь 8 Н/мкм.

2. Патрон также существенно меняет АЧХ ШУ, сдвигая резонансные частоты в низкочастотную область (с 1500 Гц до 500 Гц).

3. Предлагаемая математическая модель патрона показывает неплохое совпадение динамических характеристик ШУ, полученных при моделировании и экспериментальным путем.

## ♦ ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ И МЕТРОЛОГИЯ

УДК 629.78:658.562

*Поморцев П.М., Устьянцев Е.В., Шломин М.А.*

### Определение приоритетности проверки научно-технического уровня стандартов в области технологии машиностроения

Определение приоритетности проверки научно-технического уровня (НТУ) стандартов проводится в целях установления очередности и порядка их проверки при разработке предложений в программные документы Госкорпорации «Роскосмос» по стандартизации, сертификации производства и метрологическому обеспечению, а также в планы предприятий по пересмотру и переработке стандартов. Алгоритм приведения отраслевых документов по стандартизации (ДС) в области технологии машиностроения в соответствии с современными требованиями при разработке и производстве перспективных изделий ракетно-космической техники (РКТ) представлен на рис. 1.

По распределённому комплексу работ и технической документации определяются стандарты, в которых установлены обязательные технические требования к выполняемым операциям и процессам на всех стадиях жизненного цикла РКТ. Установление технических требований и их содержание можно условно разделить на шесть взаимозависимых этапов:

- определяется этап разработки (производства) изделий РКТ;
- определяется перечень задач (работ) в соответствии с выбранным этапом разработки (производства) изделий РКТ;
- определяется содержание работ и технической документации;
- определяются обозначения, наименования требований и разделы стандартов, в которых установлены

технические требования по работам, приведённым на предыдущем этапе;

- определяются группы технических требований стандартов и содержание этих требований по разделам стандартов, приведённых на предыдущем этапе;
- определяются обозначения, наименования и разделы ссылочных документов (при необходимости) и их содержание по разделам стандартов, приведённых на предыдущем этапе.

Определение приоритетности проверки НТУ стандартов проводится путем сопоставления технических требований стандартов с эталонными в соответствии с разработанным алгоритмом.

В качестве эталона комплексно рассматриваются наиболее важные и значимые требования, установленные в государственных и отраслевых основополагающих документах (например, стандарты системы разработки и постановки продукции на производство, комплексной системы управления качеством продукции и т.д.) и показатели, характеризующие данные требования в соответствии с наиболее перспективными отечественными и зарубежными аналогами.

По степени соответствия параметров проверяемого нормативного документа по стандартизации для всех видов, установленных в нём требований к базовым (установленным в основополагающих документах) показателям определяется необходимость его пересмотра (переработки) и очередность работ по его доработке.

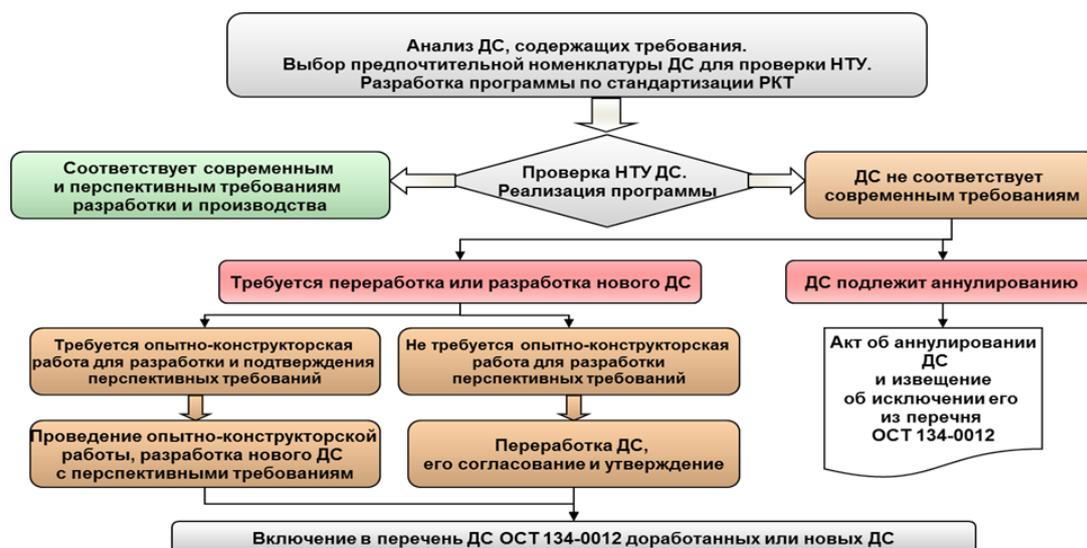


Рис. 1 – Алгоритм приведения отраслевых ДС в области технологии машиностроения в соответствие с современными требованиями при разработке и производстве перспективных изделий РКТ

## ◆ ЭЛЕКТРОННАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ

УДК 629.7:004

*Бараев А.В., Должанский Ю.М., Кулик В.И., Кочергин С.А., Моключенко И.С.,  
Коротков А.Н., Пушкарев А.С., Писаренко А.А.*

### Информационные паспорта на технологии и специальное технологическое оборудование машиностроительного производства РКП

В целях оперативного информирования предприятий отрасли сведениями о новых разработках ФГУП «НПО «Техномаш», касающихся новых технологий и специального оборудования для машиностроительного и двигательного производств ракетно-космической промышленности (РКП) на вновь разработанные передовые технологии и нестандартное технологическое оборудование, оформляются так называемые информационные технологические паспорта, в которых приводятся основные сведения о новых разработках, в том числе:

- сведения о разработчиках, соисполнителях разработки, изготовителе и поставщике технологий или оборудования;
- назначение (область применения) технологии (оборудования);
- отраслевая значимость и класс технологии (оборудования);
- краткая аннотация и основные технические характеристики разработки;

– показатели технического уровня разработки (сведения о патентной защищенности, технической документации, научных публикациях и т.п.);

– сведения об отечественных и зарубежных аналогах разработанных технологий и оборудовании и их сравнительные характеристики;

– планы внедрения разработанных технологий (оборудования) на предприятиях РКП.

Важно отметить, что рубрики паспортов являются поисковыми признаками электронной иерархической интерактивной базы данных по технологиям и специальному технологическому оборудованию машиностроительного и двигательного производств РКП, опытная версия которой эксплуатируется во ФГУП «НПО «Техномаш» с 2010 г.

Примеры оформления основных полей данных информационных технологических паспортов на новую технологию (Пример 1) и оборудование (Пример 2) приведены ниже.

Пример 1

#### ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ 211/16

**Технология комбинированной лазерно-дуговой сварки  
жаропрочных сталей и сплавов и химически активных металлов  
толщиной до 15 мм**

Вид продукции: технология.

Вид производства: сварочное производство.

Технологический процесс: комбинированная лазерно-дуговая сварка.

Область применения (назначение): изготовление ДСЕ изделий РКП.

Целевая программа, в обеспечение целей и задач которой разрабатывается технология (создается специальное оборудование): ФЦП «Развитие ОПК РФ на 2011-2020 годы».

Отраслевая значимость технологии: опытная.

Класс технологии: отраслевая.

Заказчик:

Госкорпорация «Роскосмос»,  
Щепкина ул., д. 42, ГСП-6, Москва, 107996, Россия.

Дата заключения и № госконтракта

№ гос. регистрации контракта

Шифр ОКР

Сроки выполнения работ

Разработчик:

ФГУП «НПО «Техномаш»,

3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, а/я 131, Москва, 127018, Россия.

от 30.04.2013 № 922-К249/13
У93520
ОКР «Лазер-ТС»
2013-2015

Соисполнитель:

«ВМЗ» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,  
Ворошилова ул., д. 22, г. Воронеж, 394055, Россия

(изготовление опытных образцов деталей-имитаторов типовых узлов ЖРД, опробование опытной технологии в производственных условиях).

Поставщик:

ФГУП «НПО «Техномаш»,

3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, а/я 131, Москва, 127018, Россия.

Стадия разработки: опытная технология.

Фактическое нахождение: ФГУП «НПО «Техномаш»	
сохранная записка	письмо (акт) передачи
(не требуется)	–

Общие сведения (описание, характерные особенности и новации, фото и т. д.):

Метод комбинированной лазерно-дуговой сварки, при котором формирование сварочной ванны происходит при одновременном действии на стык лазерного луча и сварочной дуги (рис. 1), является одним из перспективных направлений изготовления ответственных сварных конструкций, в том числе, сварных узлов перспективных ЖРД из жаропрочных сталей и титановых сплавов.

Технология позволяет обеспечить требуемое качество сварных соединений, одновременно повышая производительность и снижая энергопотребление сварки.

Принципиальная схема опытной установки для комбинированной лазерно-дуговой сварки приведена на рис. 2.

Состав установки:

- оптоволоконный лазер с источником питания (1);
- система охлаждения (2);
- сварочный модуль (3);
- система подачи защитного газа (4);
- источник питания дуги (5);
- блок системы контроля и программного управления параметрами процесса (6).

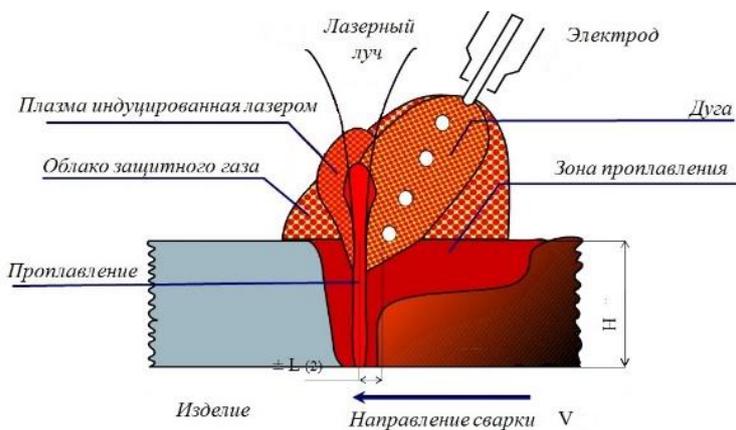


Рис.1 – Схема процесса лазерно-дуговой сварки

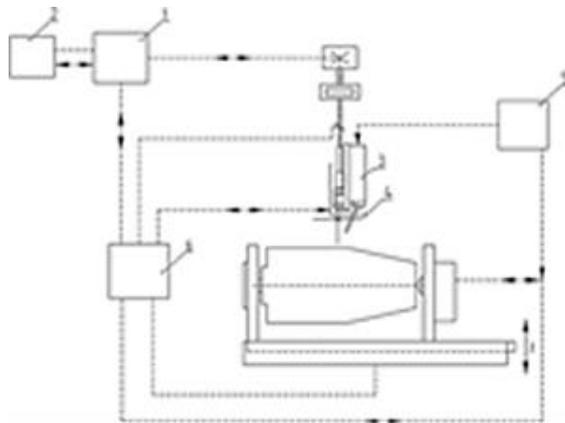


Рис. 2 – Принципиальная схема установки для комбинированной лазерно-дуговой сварки



## Сведения об аналогах:

- отечественных: опытная технология Института лазерных и сварочных технологий Санкт-Петербургского государственного политехнического университета;
- зарубежных: сведений нет.

Сравнительные технические характеристики:			
Основные сравнительные характеристики	Разработанная технология	Аналоги	
		отечественный*	зарубежный
габариты свариваемых стыков, мм:			сведений об аналогах нет
– диаметр (кольцевые и круговые швы)	200–1200	до 400	
– длина (продольные швы)	до 1500	до 800	
– толщина	до 15	до 15	
режимы лазерной сварки:			
– лазерное излучение	непрерывное	непрерывное	
– выходная мощность, кВт, не более	15	15	
– фокусные расстояния, мм	200, 300, 400	400	
режимы дуговой сварки:			
– ток сварки, А	100–500	100–500	
– напряжение дуги, В	25–40	25–40	
– скорость подачи проволоки, м/мин	5–30	5–22	
параметры комбинированной сварки:			
– скорость сварки, м/час	0,3–5,0	0,3–5,0	

\*информация взята из сборника «Beam Technologies and Laser Application»: Proceedings of the seven international scientific and technical conference. – СПб.: Publishing house SPbSPU, 2013. p.466.

Документы, характеризующие технический уровень разработки:

- патенты:
- на изобретение:
- заявка от 29.10.2015 № 2015146583 на патент Российской Федерации «Установка для лазерно-дуговой сварки деталей»;
- на промышленный образец – нет;
- на полезную модель:
- патент Российской Федерации от 10.10.2015 № 157428 «Подкладка для формирования кольцевого сварного шва» (заявка от 09.07.2015 № 20151274470);
- «ноу-хау» Российской Федерации – нет;
- лицензии – нет;
- сертификаты – нет;
- другие документы (технологические процессы, технические условия и т.п.):
- Опытный технологический процесс лазерной и комбинированных методов сварки (№ 922.50190.24005);
- Технологическая инструкция (№ 922.25090.24008);
- научные публикации – нет.

Рынок конкурентоспособности вновь разрабатываемой продукции – рынок России.

Предприятия, на которых планируется внедрение технологии (оборудования)

Название предприятия	Год начала использования технологии	Изделие, для изготовления которого используется технология
«ВМЗ» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. Хруничева»	2018	РД191, 8Д49, 8Д411/412К и др.



## Пример 2

## ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ 157/14

**Специальный станок (многокоординатный портальный обрабатывающий центр)  
для обработки слоистых пластиков и алюминиевых сплавов (модель ОЦП 3000)**

Вид продукции: оборудование.

Вид производства: механическая обработка.

Технологический процесс: фрезерование, сверление.

Область применения (назначение): изготовление ДСЕ РКТ.

Целевая программа, в обеспечение целей и задач которой разрабатывается технология (создается специальное оборудование): Федеральная космическая программа России на 2006-2015 годы.

Отраслевая значимость технологии: базовая.

Класс оборудования: межотраслевое (специальное).

Заказчик:

Госкорпорация «Роскосмос»,

Щепкина ул., д. 42, ГСП-6, Москва, 107996, Россия.

Дата заключения и № госконтракта

№ гос. регистрации контракта

Шифр ОКР

Сроки начала-завершения ОКР

Разработчик:

ФГУП «НПО «Техномаш»,

3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, а/я 131, Москва, 127018, Россия.

Соисполнитель:

ЗАО «Станкотех»

Вадковский пер., д. 18А, офис 214, Москва, 127055, Россия

(изготовление и сборка механических узлов станка; монтаж и подготовка станка к приёмо-сдаточным испытаниям)

Поставщик (оборудования):

ФГУП «НПО «Техномаш»,

3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, а/я 131, Москва, 127018, Россия.

Стадия разработки: опытный образец.

фактическое нахождение: ФГУП «НПО «Техномаш»

от 04.04. 2011 № 922-Т506/11
У92386
«Прогресс» (СО)
2011-2015

сохранная записка	письмо (акт) передачи

Общие сведения (описание, характерные особенности и новации, фото и т.д.):

Многокоординатный портальный обрабатывающий центр ОЦП 3000 (рис. 1) предназначен для высокопроизводительной обработки деталей сборочных единиц (ДСЕ) из слоистых материалов (полимерных композиционных материалов стеклотекстолитов, слюдосодержащих и других неметаллических материалов) и алюминиевых сплавов в опытном и мелкосерийном производстве.

Основными конструктивными элементами и функциональными узлами станка ОЦП-3000 являются:

рабочая фрезерная головка (1); ползун (2); траверса (3); каретка (4); стол (5); пульт управления (6); передвижное защитное ограждение рабочей зоны станка (7).

На станке используется система ЧПУ по типу SINUMERIK 840Di, реализован режим измерительной машины и в программе обработки производится коррекция режимов с учётом износа инструмента.

Опытный образец станка был представлен на специализированной промышленной выставке «Металлообработка-2013» (Москва).



Рис. 1 – Опытный образец станка ОЦП-3000 на участке сборки завода-изготовителя (ЗАО «Станкотех», г. Коломна)



Рис. 2 – Опытный образец ОЦП-3000 на выставке «Металлообработка-2013»



## Сведения об аналогах:

- отечественных – нет;
- зарубежных: станок DYNAVILL 1000, фирмы MECOF (Италия).

## Сравнительные технические характеристики:

Основные сравнительные характеристики	ОЦП-3000	Аналоги		
		отечественный	зарубежный	
наибольшие перемещения по осям:				
– ось «X» (продольное перемещение траверсы), мм	3700	аналогов нет	данных нет	
– ось «Y» (поперечное перемещение каретки), мм	2500			
– ось «Z» (вертикальное ползуна суппорта), мм	1200			
– ось «C» (вращение инструментальной головки вокруг вертикальной оси), град	± 360			
– ось «A» (поворот головки в вертикальной плоскости), град	± 100			
– число управляемых координат	5			
– число одновременно управляемых координат	5			5
– класс точности по ГОСТ 8-82	Н			–
– точность позиционирования по осям, мм	± 0,025			± 0,025
– точность обработки детали, мм, не хуже	± 0,15			–
– мощность привода главного движения, кВт	до 18			15
– максимальная частота вращения электрошпинделя, мин <sup>-1</sup>	18000			10000
– номинальный момент электрошпинделя, Нм	55			–
– ёмкость инструментального магазина, ед. скорости подач:	12			–
– по осям «X-Y-Z», мм/мин	до 20000			20000
– по осям «A-C», мин <sup>-1</sup>	до 100			
– крепление инструмента (конус шпинделя)	HSK A63	данных нет		
– питание, Гц x В	50 x 380			
– общая установленная мощность электрооборудования, кВт	120			
– расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	8			
– габаритные размеры, мм	10000 x 8100 x 6400			
– масса станка, кг	54000			

## Документы, характеризующие технический уровень разработки:

- патенты:
  - на изобретение: нет;
  - на промышленный образец: нет;
  - на полезную модель: нет;
- «ноу-хау»: нет;
- лицензии: нет;
- сертификаты: нет;
- другие документы (технологические процессы, технические условия и т.п.):
  - комплект КД «Станок для обработки слоистых пластиков. Модель ОЦП-3000» (ОЦП3000.00.000.000);
- научные публикации: нет.

Рынок конкурентоспособности вновь разрабатываемой продукции – рынок России.

## Предприятия, на которых внедрено оборудование

Название предприятия	Год начала использования технологии	Наименование изделия, для изготовления которого используется технология	Наименование конечного изделия РКТ (РН, РБ, БРК, КА)
ОАО «ПЗ «Машиностроитель»	2014	(универсальное оборудование)	



## ◆ ОБРАЗОВАНИЕ И ОПЕРЕЖАЮЩАЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ

УДК 629.7:658.3

*Бичурин Х.И., Машков В.Н.*

### **Инновационная система подготовки специалистов и повышения квалификации персонала машиностроительного предприятия**

Подготовка высококвалифицированных кадров является важнейшим потенциалом развития экономики, повышения ее конкурентоспособности и обеспечения безопасности и обороноспособности страны.

Развитие науки и техники, разработка инновационной продукции и применение высоких технологий при их производстве обуславливают новые требования к подготовке кадров всех уровней, включая начальное, среднее и высшее профессиональное образование и подготовку специалистов в аспирантуре вузов.

Особую роль и место в системе подготовки высококвалифицированных кадров играют предприятия военно-промышленного комплекса, располагающие современными технологиями, соответствующими специалистами и материальными ресурсами.

Авиакосмической области требуются специалисты высокого профессионального уровня, что обуславливается усложнением проектируемых и создаваемых технических систем и комплексов, высочайшим уровнем применяемых технологий, необходимостью повышения технико-экономической эффективности разработок и обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции.

В то же время подготовка для авиакосмической области специалистов высокого профессионального уровня невозможна без совершенствования системы менеджмента качества профессионального образования, направленной на опережающее удовлетворение запросов потребителей образовательных услуг и создание системных гарантий приобретения обучающимися высокого уровня умения творчески мыслить, вести научно-исследовательскую и инновационную деятельность.

Инженер в космической области должен обладать профессиональными способностями к критическому, абстрактному и концептуальному творческому мышлению.

В настоящее время следует стремиться к созданию внутренней инновационно-образовательной среды, устойчивой и восприимчивой к нововведениям. Одной из форм реализации инновационной образовательной программы является использование современных методик менеджмента образовательной деятельности, призванных осуществить стратегическую цель – обеспечить качество образования на основе новых подходов к повышению эффективности организации и управления образовательным процессом. Этого можно достигнуть на основе управления организационными инновациями во всех направлениях деятельности вуза – учебно-методической, научно-исследовательской, хозяйственной и др.

Подготовка высококвалифицированного персонала является одной из стратегических задач ФГУП «НПО

«Техномаш», для решения которой на Предприятии разработана и реализована постоянно совершенствующаяся система подготовки специалистов и повышения квалификации персонала, базирующаяся на принципах:

- сохранение высокопрофессиональных специалистов, являющихся носителями опыта, накопленного поколениями, и сохранение преемственности поколений;

- обеспечение системной интеграции образования, науки и производства;

- непрерывное профессиональное образование, основными базовыми составляющими которой является фундаментализация, индивидуализация, интенсификация, компьютеризация и многоуровневость;

- системный подход к профориентационной работе, образовательному процессу подготовки специалистов, повышению квалификации специалистов;

- подготовка специалистов на дневных отделениях вузов без отрыва от производства: работа студентов на рабочих местах Предприятия в свободное от учёбы время и при прохождении практик и стажировок;

- направление на обучение в вузы студентов в рамках программы целевой подготовки кадров для предприятий оборонно-промышленного комплекса;

- направление работников Предприятия на обучение по программам магистратуры, аспирантуры и докторантуры в ведущие вузы Москвы;

- создание на Предприятии базовых кафедр – филиалов кафедр вузов г. Москвы.

Опыт ФГУП «НПО «Техномаш» показал эффективность целевой подготовки специалистов, организация работы с которыми ведётся в соответствии с разработанным «Регламентом работы подразделений ФГУП «НПО «Техномаш» со студентами, направленными на целевую подготовку в профильные учебные заведения г. Москвы».

Целевая контрактная подготовка предусматривает:

- закрепление рабочего места до окончания учебного заведения в целях специализации и адаптации будущего специалиста;

- прохождение студентом (как правило, на предоставляемом рабочем месте после окончания учебного заведения) практик: производственных, технологических, конструкторских и преддипломных с оплатой труда за фактически отработанное время;

- мотивацию студентов выплатой надбавки к стипендии, зависящей от успеваемости;

- закрепление ведущих специалистов Предприятия для организации и руководства практиками;

- выполнение дипломных и курсовых работ по тематике подразделения, для которого готовится специалист;



– участие специалистов Предприятия в государственных аттестационных комиссиях и руководство дипломным проектированием;

– при необходимости введение дополнительных специальных программ обучения, в том числе по информационным технологиям.

Предприятие имеет договоры о сотрудничестве, целевой подготовке специалистов и организации практик студентов с МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГТУ «СТАНКИН», Университетом машиностроения «МАМИ», НИУ «МЭИ» и рядом других вузов Москвы, что способствует решению задачи обеспечения специалистами.

На основании соответствующих договоров созданы базовые кафедры вузов, готовящих специалистов в области авиационной техники и машиностроения, что позволяет конкретизировать подготовку инженеров с учётом специфики Предприятия, а также эффективно вести профориентационную работу:

– базовая кафедра РУДН и ФГУП «НПО «Техномаш» «Управление конкурентноспособностью аэрокосмических предприятий»;

– кафедра «Технологические процессы изготовления изделий ракетно-космической техники» в составе Учебно-методического центра «Стандартизация и управление качеством» АО «ИПК «Машприбор» (Корпоративная Академия РОСКОСМОСА);

– базовая кафедра МАИ, МАМИ и ФГУП «НПО «Техномаш» «Технологии ракетно-космического машиностроения»;

– кафедра МГТУ «СТАНКИН» и ФГУП «НПО «Техномаш» «Технологии космического машиностроения».

К работе на кафедрах привлекаются ведущие специалисты ФГУП «НПО «Техномаш» и РКП.

В данной системе музей Предприятия является центром профориентационной работы, в структуру которой входит Совет ветеранов и Совет молодых специалистов и учёных. Оба Совета выполняют определённые функции и в структуре повышения квалификации.

Положительным является опыт применения совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана лично-ориентированной работы со студентом. Данная работа оказалась действенной в отношении профессиональной ориентации на Предприятии успевающего выпускника путём проведения политики поддержки молодых специалистов на Предприятии и заключения договора на целевую контрактную подготовку специалиста в вузе.

Важным элементом непрерывной подготовки специалиста является работа студентов на Предприятии по специальности в свободное от учёбы время и во время производственных практик.

К моменту завершения обучения в вузе такие выпускники учебных заведений уже адаптированы на производстве под контролем опытного специалиста-наставника, что соответствует прохождению практикоориентированного обучения на рабочем месте и последующего дополнительного профессионального образования.

Система непрерывного профессионального образования позволяет более полно и опережающими темпами удовлетворять потребности Предприятия в специалистах.

Такая политика даёт свои плоды: во ФГУП «НПО «Техномаш» 70% работников имеют высшее профессиональное образование, 15% – среднее профессиональное образование, 9 человек – учёную степень доктора технических наук, 33 – кандидата наук.

На основании опыта по непрерывному образованию выявлены преимущества и проблемы в подготовке специалистов всех уровней.

Начальное и среднее профессиональное образование (НПО, СПО) по объективным причинам, в том числе связанным с отсутствием должного уровня финансирования, падением престижа рабочих профессий, не удовлетворяет потребности работодателей.

Объёмы текущего бюджетного финансирования учреждений системы НПО и СПО не создают полноценных возможностей по приобретению в необходимом количестве современного учебного оборудования, новых технических средств обучения, учебно-методических материалов и масштабному переоснащению образовательных учреждений.

В современных производственных процессах все шире используются высокие технологии и управляющие устройства, внедряются новые технологические процессы, что, в свою очередь, приводит к повышению уровня интеллектуализации труда рабочих и росту их персональной ответственности за эффективное использование и техническое состояние оборудования.

В связи с этим изменились профессиональные функции рабочего: от изготовления изделия к управлению автоматизированными системами по выпуску сложной и высокоточной продукции.

Особо сложные профессии современного производства требуют привлечения рабочих с СПО, а в отдельных случаях и с ВПО, которые смогли бы эффективно работать на высокотехнологичном оборудовании.

В советское время система НПО выпускала 8–12% от общего количества рабочих кадров. Одновременно с этим работодатели имели собственные учебные комбинаты, ПТУ и другие подразделения, работавшие по программам НПО. В настоящее время – это, практически, – исключение.

Сегодня колледжи готовят в основном специалистов с СПО, которые не востребованы в современном наукоёмком машиностроительном производстве.

По нашему убеждению, колледжи должны готовить для промышленных предприятий в соответствии с их заявками образованных, квалифицированных рабочих с дипломом техника. Такие специалисты всегда будут нужны в промышленности.

Требования к современному инженеру ставят задачи более глубокого овладения теоретическими и практическими знаниями, сквозного (на протяжении всех учебных семестров) освоения и использования информационных технологий (ИТ) (особенно при изучении специальных дисциплин), умения использования ИТ как эффективного инструмента реализации полученных знаний, а также освоения профильных рабочих профессий.

В системе подготовки таких специалистов целесообразно:

- вузам при формировании учебных планов и программ ориентироваться на текущие и перспективные потребности предприятий наукоёмких и высокотехнологических отраслей промышленности;
- вузам осуществлять координацию деятельности всех составляющих образовательной системы для решения основной задачи – приобретения студентами знаний;
- образовательным организациям определить и реализовать программы по планированию, созданию и поддержанию необходимой инфраструктуры образовательного процесса;
- обеспечить результативность и эффективность образовательного процесса с помощью мониторинга и регулярного измерения показателей качества обучения;
- при проектировании образовательного процесса в вузе установить критерии и методы, необходимые для обеспечения его эффективности и возможности управления качеством его реализации на основе процессного подхода и категорий менеджмента качества;
- использовать рыночные механизмы в организации и совершенствовании системы образования.

Безусловно, основным бизнес-процессом вуза должен являться образовательный процесс, связанный с

подготовкой квалифицированных специалистов с уровнем знаний, востребованным, прежде всего отечественным работодателем.

Важными этапами образовательного процесса являются налаживание взаимодействия между поставщиками и потребителями обученных специалистов, безусловное выполнение требований к содержанию и условиям реализации основной образовательной программы, предусмотренной Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и выявление предприятий-потребителей с реализацией требований к составу и содержанию элективных дисциплин и дисциплин специализации.

Идентификация и управление системой взаимосвязанных образовательных процессов, моделирующей деятельность организации высшего образования совместно с предприятиями-работодателями, повысят результативность деятельности вузов в удовлетворении запросов потребителей, и что наиболее важно, позволят подготовить специалистов, столь необходимых в настоящее время для восстановления и развития экономики страны, безопасности и обороноспособности государства.

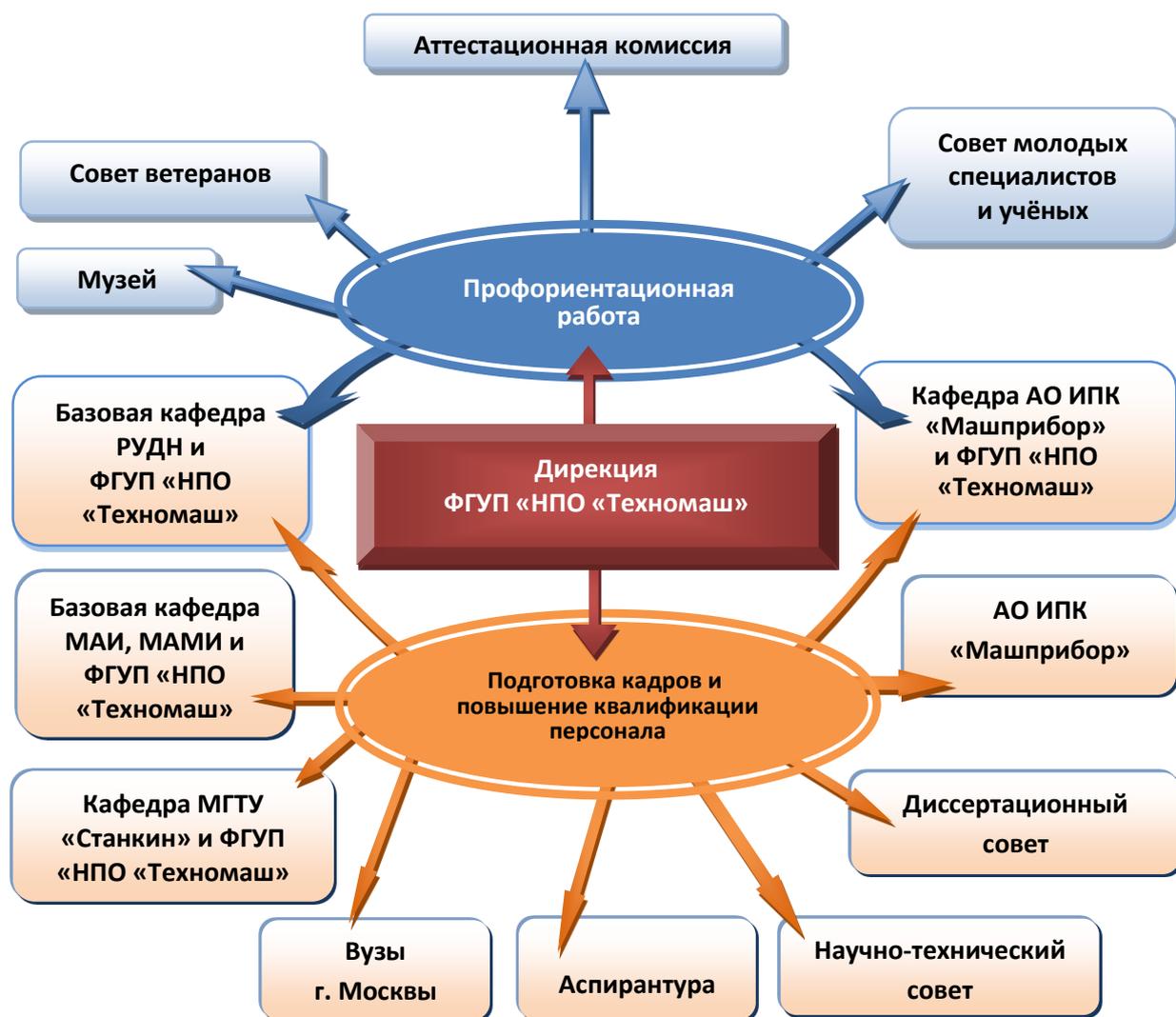


Рис.1 – Система подготовки кадров и повышения квалификации персонала



## ◆ КОСМИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА СССР

УДК 629.78

*Чичварин В.Ф.*

### Пилотируемая лунная программа и её технологическое обеспечение

В конце 50-х годов прошлого столетия в СССР (по инициативе С.П. Королёва) и США (по инициативе Вернера фон Брауна) начались проработки возможности создания тяжёлой ракеты, в том числе для пилотируемых полётов в дальний космос.

Рассматривались разные варианты типов ракет, их конструкции, компоновки, применяемые компоненты топлива, типы двигателей, включая и ядерные ракетные двигатели (ЯРД).

В результате проведённых работ в СССР был определён предварительный облик мощной ракеты-носителя (РН), получившей наименование Н1 со стартовой массой 2200 т, массой полезного груза 75 т на опорной орбите, ракетными двигателями на кислородно-керосиновых компонентах топлива тягой по 150 т.

В 1964 году основной задачей создаваемого ракетного комплекса Н1 назначено проведение пилотируемой лунной экспедиции в 1967–1968 гг.

Применительно к поставленной задаче в декабре 1964 года разработан проект лунного пилотируемого комплекса Н1-Л3 в составе:

- лунного посадочного корабля (ЛК) – 11Ф94 с ракетным блоком Е;
- лунного орбитального корабля (ЛОК) – 11Ф93 с ракетным блоком И;
- разгонных блоков Г и Д;
- системы аварийного спасения (САС);
- головного обтекателя (ГО).

Характеристики пилотируемого ракетно-космического комплекса (РКК) Н1-Л3 представлены на рис. 1.

Главным разработчиком по комплексу Н1-Л3 в целом стал ОКБ-1. Главным изготовителем РН Н1 и разгонного блока Г – Самарский завод «Прогресс». Главным изготовителем головного блока Л3 в целом и кораблей ЛК, ЛОК, а также разгонного блока Д – Завод экспериментального машиностроения («ЗЭМ»). Изготовителем головного обтекателя комплекса Л3 выбран завод имени М.В. Хруничева («ЗИХ»). Разработчиком и изготовителем маршевых двигателей для РН – ОКБ-276:

- НК-15 (11Д51) для первой ступени;
- НК-15В (11Д52) для второй ступени;
- НК-19 (11Д53) для третьей ступени.

Основные конструктивно-технологические особенности комплекса Н1-Л3, определившие организацию его производства и технологическое обеспечение,

не имевшие аналогов в отечественной ракетно-космической технике:

- большие габариты и массы комплекса и его частей, исключающие транспортировку с предприятий-изготовителей на космодром не только блоками, но и агрегатами;
- подвесные крупногабаритные сферические топливные баки диаметром до 10000 мм;
- многообразие конструктивно сложных, входящих в головной блок комплекса, составляющих изделий (не имевший аналогов лунный корабль, лунный орбитальный корабль, разгонные и ракетные блоки с жидкостными ракетными двигателями (ЖРД), система аварийного спасения с ракетными двигателями твёрдого топлива (РДТТ), крупногабаритный головной обтекатель) и сложность конструкции головного блока в целом.

Это потребовало совершенно новых подходов к организации производства комплекса и его составных частей.

Была принята и реализована двухэтапная схема организации производства.

#### **I этап:**

- изготовление изделий, составляющих комплекс на предприятиях отрасли, с обеспечением их транспортабельности на космодром с контрольной сборкой и последующей разборкой агрегатов, состоящих из транспортабельных элементов;
- транспортировка изготовленных изделий и транспортабельных элементов в специальных контейнерах на специальных платформах на космодром Байконур.

#### **II этап:**

- сборка комплекса Н1-Л3 на космодроме:
  - окончательная сборка и монтаж агрегатов из транспортабельных элементов;
  - сборка, монтаж и испытания блоков А, Б, В РН Н1;
  - сборка, монтаж и испытания головного блока Л3;
  - стыковка РН Н1 и головного блока Л3;
  - испытания РКК Н1-Л3.

К работам по созданию РКК Н1-Л3 головной технологический институт НИТИ-40 (п/я 1000) (сегодня – ФГУП «НПО «Техномаш») привлечён в 1962 году в процессе проработки вариантов РН, для чего была создана комплексная бригада специалистов института по основным направлениям технологии и разработки нестандартного оборудования и средств технологического оснащения.

Главным технологом проекта был назначен Г.А. Толпыго (НИТИ-40).



На первых этапах работы одной из первостепенных конструктивно-технологических проблем явилось определение конструкции топливных баков.

Как одна из наиболее целесообразных рассматривалась сферическая конструкция подвесных топливных баков, имеющих более оптимальные характеристики (площадь поверхности, толщина стенок, масса) по сравнению с цилиндрическими несущими баками за счёт исключения нагрузок, включённых в силовую схему всей ракеты. Это были проектное и конструкторское решения.

Для выбора технологии изготовления сферических ёмкостей диаметром до 10 метров была создана бригада, в чей состав вошли: В.А. Удальцов (ОКБ-1), В.Ф. Чичварин и Р.Д. Кочетков (НИТИ-40). Возглавил бригаду главный технолог ЗЭМ В.П. Долбилов. В качестве аналога рассматривалась стальная конструкция сферической ёмкости требуемых габаритов электродигидратора (установка для переработки нефтепродуктов), которые эксплуатировались в СССР.

Эта ёмкость сваривалась из двух полушарий, состоящих из лепестков с полюсными частями. Все транспортные лепестки и полюсные части изготавливались на Барнаульском котельном заводе, транспортировались и сваривались в ёмкость на месте установки электродигидратора. После изучения на местах и анализа технологии изготовления решено принять для баков создаваемой РН аналогичное членение ёмкости и схему организации работ по их изготовлению.

Специалистами НИТИ-40 и филиалом института в г. Златоусте была разработана технология сварки сферических ёмкостей из алюминиевых сплавов диаметром до 10 метров и спроектирована уникальная сварочная установка УСС-1, которая устанавливалась в монтажно-испытательный корпус (МИК) космодрома Байконур для изготовления штатных ёмкостей, а также в испытательном центре (г. Загорск) для изготовления ёмкостей экспериментальных установок ЭУ-15 (блок Б) и ЭУ-16 (блок В).

Эта же установка УСС-1 применялась для изготовления сферических днищ блока Ц РН «Энергия».

Для проведения работ с комплексом Н1-Л3 на космодроме Байконур (площадка 112) был построен МИК с соответствующей инфраструктурой.

Пятипролётный корпус общей площадью 55000 м<sup>2</sup>, с длиной пролётов 240 м, имел три пролёта с высотой до подкрановых путей 45 м и два – с высотой до подкрановых путей 24 м.

Пролёты были оснащены 200-тонными мостовыми кранами. Для передачи изделий между пролётами на поперечной колее предусматривался транспортный агрегат СТА-250.

В первых двух «низких» пролётах производился полный цикл изготовления из транспортноабельных элементов топливных баков (сварка, гидродневмоиспытания, тарировка, контроль геометрических параметров, внутренний монтаж, нанесение теплоизоляционных и теплозащитных покрытий), а также собирались отдельные элементы и агрегаты корпусов блоков.

В «низких» пролётах были установлены сварочная установка УСС-1, уникальный стенд СГ-12 (проект

НИТИ-40) для проведения работ с топливными баками, включая гидродневмоиспытания и тарировку.

В третьем «высоком» пролёте производилась вертикальная сборка, монтаж и испытания блоков А, Б и В РН.

Работы с блоком В (третья ступень) проводились в традиционном стенде с площадками обслуживания.

Для работ с блоками А (первая ступень) и Б (вторая ступень) реализовано оригинальное решение, исключаящее создание громоздких металлоёмких традиционных стендов.

Блоки А и Б собирались на специальных основаниях, а обслуживание рабочих мест производилось со специальных съёмных технологических навесных балконов, которые в процессе сборки корпуса блока устанавливались и крепились непосредственно на корпус блока, для чего на элементах корпуса блоков предусматривались специальные фитинги.

На блоке А устанавливали пять ярусов балконов обслуживания, на блоке Б – четыре.

Доступ на ярусы осуществлялся через откидные мостки с галерей, проходящие вдоль стен МИК.

После завершения работ с блоками А, Б и В, блоки кранами в вертикальном положении с применением специальных кольцевых траверс устанавливались на транспортный агрегат СТА-250 и перемещались в четвёртый или пятый пролёты.

Наиболее сложной была механизированная (для дистанционного закрепления проушин траверсы на двузубчатых крюках двух мостовых кранов) траверса УК-200-10 (проект НИТИ-40) для подъёма и кантования блока А массой 180 т.

Кантование блоков А, Б и В проводилось на кантователе УК-200 (проект НИТИ-40), а определение положения центра масс блоков вдоль продольных осей – в стенде ОЦТ-3 (проект НИТИ-40).

По окончании работ в четвёртом (пятом) пролётах блоки А, Б и В мостовыми кранами устанавливались на монтажно-стыковочные агрегаты, производилась стыковка блоков, монтаж и испытания РН Н1.

Доставленные с предприятий-изготовителей составные части головного блока Л3 помещались в МИК КО (объект 135Р-2Б), где велась окончательная сборка головного обтекателя из транспортноабельных элементов, монтаж и испытания лунных кораблей ЛК, ЛОК и разгонных блоков Г и Д в специальных стендах.

Многообразие конструктивно сложных, входящих в головной блок комплекса, составляющих изделий (не имевший аналогов лунный корабль, лунный орбитальный корабль, разгонные и ракетные блоки с ЖРД, система аварийного спасения с РДТТ, крупногабаритный головной обтекатель) и сложность конструкции головного блока, определили необходимость решения целого ряда технологических проблем по обеспечению их производства.

Причиной одной из проблем стала малая жёсткость и большие габариты лунного комплекса (длина 30000 мм) и головного блока в целом (длина 43200 мм, диаметр 6000 мм, масса 46,6 т).



При горизонтальной сборке весовой прогиб и даже перепад температур по высоте МИК КО до 5-10 °С вызывали деформацию изделий, увеличивали погрешность измерений геометрических параметров и усложняли монтаж, особенно при сборке лунного комплекса с головным обтекателем.

Для обеспечения этих работ была разработана оригинальная технология контроля геометрических параметров определения центра масс и сборки головного блока с применением специального оборудования (проект НИТИ-40), позволяющего вращать вокруг горизонтальной оси как комплекс, так и сам головной блок, и уникального стенда сборки ССГБ (проект НИТИ-40).

Для устранения влияния перепада температур провели реконструкцию МИК КО (построили тамбур у въездных ворот) и улучшили систему отопления корпуса.

После завершения работ с входящими в комплекс изделиями, последние устанавливались на монтажно-стыковочные тележки (проект НИТИ-40).

Производилась стыковка изделий лунного комплекса, контроль геометрических параметров, испытания и установка лунного комплекса в головной обтекатель в стенде ССГБ (проект НИТИ-40).

Затем головной блок перевозился в основной МИК (пролёты четыре, пять), укладывался на стыковочный агрегат и пристыковывался к РН. После проведения комплексных испытаний изготовление лунного пилотируемого комплекса Н1-Л3 завершалось, и он перекладывался на установщик для вывоза на старт.

Технологическое обеспечение и сопровождение комплекса Н1-Л3 головным технологическим институтом НИТИ-40 осуществлялось на всём цикле его создания и изготовления специалистами института и комплексными бригадами на предприятиях отрасли.

Основные работы по комплексу Н1-Л3 выполнены НИТИ-40:

- создание совместно с заводами «Прогресс», ЗЭМ и ОКБ-1 основных положений изготовления комплекса, исходя из его конструктивно-технологических особенностей, включая:

- членение основных агрегатов комплекса на транспортабельные элементы;

- изготовление на предприятиях отрасли транспортабельных элементов агрегатов корпусов и их контрольная сборка (кроме сварных топливных баков);

- транспортировка в специальных контейнерах на специальных железнодорожных платформах элементов корпуса на космодром Байконур;

- создание на технической позиции космодрома с необходимой инфраструктурой уникального пятипролётного монтажно-испытательного корпуса МИК общей площадью 55 тыс.м<sup>2</sup> (с длиной пролёта – 240 м и высотой – 24-45 м), оснащённых 200-тонными мостовыми кранами, где проводились сборка и монтаж агрегатов из транспортабельных элементов, сварка и испытания топливных баков, а также сборка, монтаж, контроль и испытания блоков и РН;

- разработка директивных технологических процессов и цикловых графиков изготовления, сборки и контроля блоков и РН;

- разработка директивных технологических процессов сборки-сварки, гидравлических и пневматических испытаний, контроля геометрии и тарировки крупногабаритных (диаметром до 10 м) сферических топливных баков;

- разработка совместно с заводом «Прогресс» методики безкондукторного обеспечения стыкуемости крупногабаритных агрегатов, собираемости и взаимозаменяемости элементов изделия;

- разработка директивных технологических процессов подъёма и кантования собранных блоков РН Н1 (11А52), в том числе блока «А» (масса блока – 180,8 т, длина – 31 м, максимальный диаметр – 16,8 м) с применением, спроектированными НИТИ-40, уникальных траверс и кантователя;

- разработка директивных технологических процессов сборки маложёсткого ракетного комплекса Л3 и сборки его с головным маложёстким обтекателем с учётом весовых и температурных деформаций на уникальном стенде ССГБ разработки НИТИ-40;

- проекты 45 единиц крупногабаритного нестандартного технологического оборудования и средств технологического оснащения, в том числе:

- установка для сборки-сварки баков из транспортабельных элементов – УСС-1;

- стенд для гидравлических и пневматических испытаний и тарировки топливных баков – СГ-12;

- стенды для завода и технической позиции для сборки, монтажа, контроля и испытаний агрегатов и блока «В» – ПН-46/1, ПН-46П, ПН-43, ПН-42;

- траверс для подъёма и кантования блоков А, Б, В;

- кантователь для кантования блоков А, Б, В;

- стенд для определения центра масс ОЦТ-3;

- комплект монтажно-стыковочных тележек и средств обслуживания для сборки и монтажа комплекса Л3;

- стенд для сборки и контроля головного блока комплекса – СС ГБ.



## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

### Комплекса Н1-ЛЗ:

- стартовая масса – 20820 т;
- масса полезного груза – 95 т;
- длина 101 м;
- максимальный диаметр – 16,8 м;
- масса сухая – 341,7 т.

### РН Н1:

- длина -57,8 м;
- максимальный диаметр – 16,8 м;
- сухая масса – 246,7 т.

### Блок А – первая ступень:

- длина – 31 м;
- максимальный диаметр – 16,8 м;
- масса сухая – 180,8 т;
- маршевые двигатели 30ЖРД НК-15 (11Д51).

### Блок «Б» – вторая ступень:

- длина 20,5 м;
- максимальный диаметр – 10 м;
- масса сухая – 52,3 т;
- двигатели 8 ЖРД НК-15В (11Д52).

### Блок «В» – третья ступень:

- длина 11,5 м;
- максимальный диаметр – 7,6 м;
- масса сухая 13,7 т;
- двигатели 4 ЖРД НК-19 (11Д53).

### Головной блок с лунным комплексом

#### ЛЗ:

- длина - 43,2 м;
- максимальный диаметр – 6 м;
- масса сухая – 46,6 т.

#### Состав головного блока:

- РБ «Г»;
- РБ «Д»;
- лунный орбитальный корабль (ЛОК);
- лунный корабль (ЛК);
- головной обтекатель;
- система аварийного спасения.

Технологические особенности конструкции комплекса

1. Уникальные габариты и масса, что делает его не транспортабельным даже на уровне агрегатов.
2. Сложная конструкция и компоновка с подвесными сферическими топливными баками.
3. Малая жёсткость конструкции.
4. Наличие на РН крупногабаритных сложных агрегатов автоматики и трубопроводов ПГС большого диаметра.
5. Большое количество двигателей – 42 маршевых двигателя только на РН.
6. Наличие в составе комплекса лунного корабля, не имеющего аналогов.
7. Высокая трудоёмкость и длительный цикл изготовления.

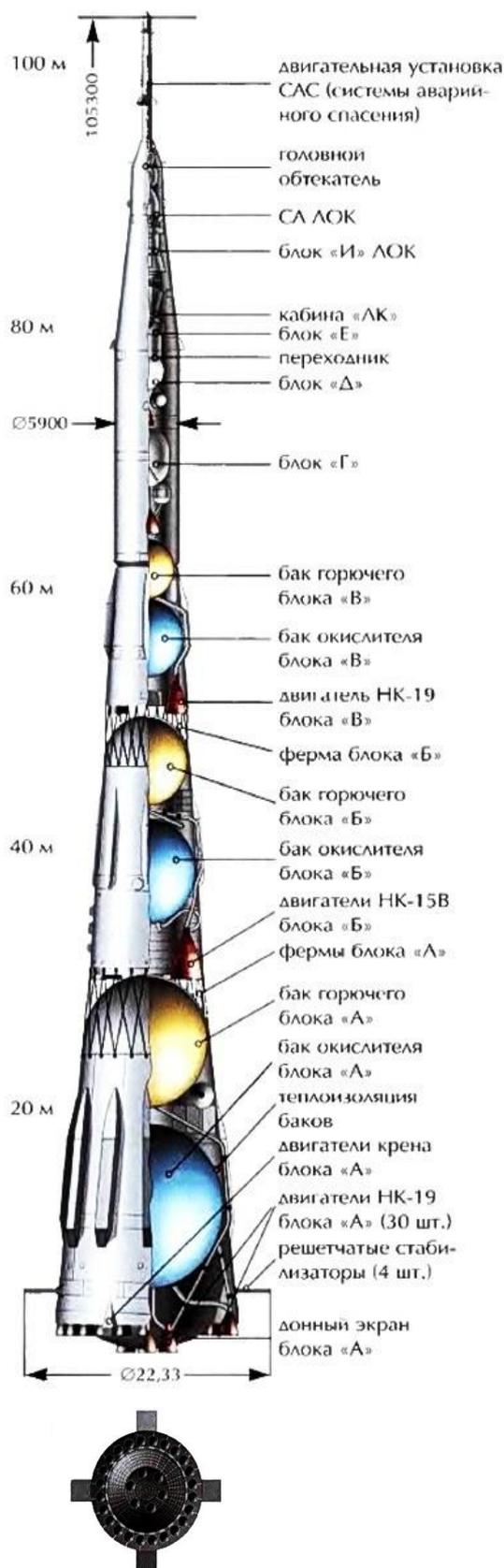


Рис. 1 – Пилотируемый ракетно-космический комплекс Н1-ЛЗ



## ◆ ОТРАСЛЕВАЯ НАУКА

УДК 621.9.06.004.58

*Сабиров Ф.С., Козочкин М.П. (ФБОУ ВО МГТУ «Станкин»)*

### Вибрационный контроль шпиндельных узлов станков в производстве

*Рассмотрены вопросы оценки состояния опор шпиндельных узлов металлорежущих станков. Показано, что применение методов виброакустической (ВА) диагностики позволяет объективно оценивать изменения в характере работы шпинделя, которые ведут к деградации опор и потере качества обработки на станке. Для своевременного принятия решения о проведении технического обслуживания или ремонта необходима периодическая регистрация параметров ВА сигналов при работе шпинделя.*

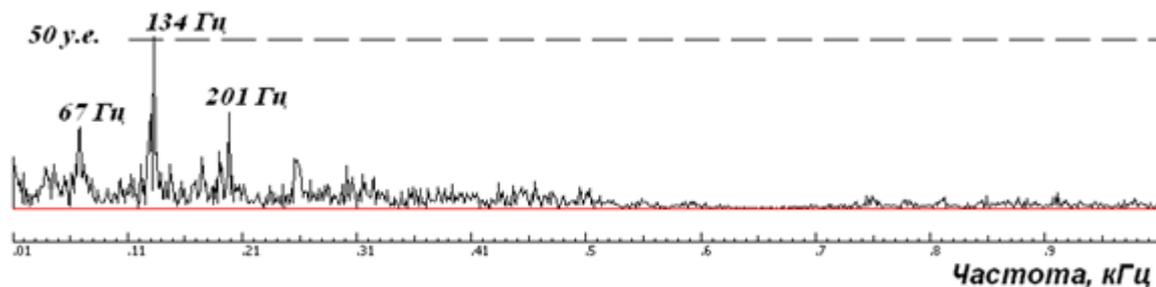
**Ключевые слова:** шпиндельный узел, подшипник, виброакустическая диагностика, мониторинг, спектр, огибающая сигнала.

Качество работы шпиндельных узлов во многом определяет точностные характеристики технологического оборудования [1, 2]. Однако необходимо обращать внимание на тот факт, что процесс зарождения дефектов в опорах шпинделей значительно опережает момент, когда развитие дефекта проявится в виде нарушений точностных параметров оборудования. В шпиндельном узле нарушения в работе отдельных опор оказывает в большей или меньшей степени влияние и на работу соседних опор. Развитие дефекта одного подшипника или его изначально неправильная установка при сборке могут привести к инициации развития дефектов и в других опорах. В результате, вместо мелкого ремонта может потребоваться замена шпиндельного узла, связанная с простоями и дополнительными расходами.

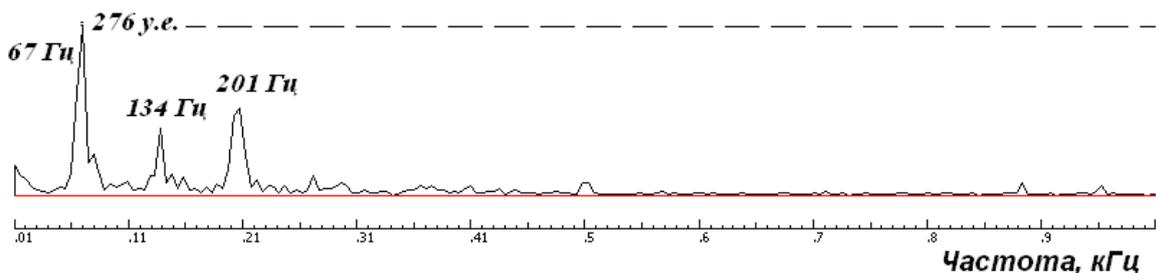
Методики виброакустической (ВА) диагностики состояния подшипников давно приняты на вооружение и широко распространены в промышленно развитых странах. Условия реализации этих методик и нормативы на регистрируемые параметры закреплены в соответствующих стандартах. Промышленность выпускает станды, предназначенные для закрепления и обкатки подшипников со стандартными угловыми скоростями и усилиями осевого натяга, и приборы для контроля параметров ВА сигналов, по которым можно судить о состоянии тел качения, подшипниковых колец и сепаратора [2]. Сложность заключается в том, что удовлетворительные характеристики подшипника, полученные на стенде, не гарантируют стабильности его работы после встройки, например, в шпиндельный узел. Многие определяются конструкцией узла, качеством изготовления его элементов, технологией сборки и условиями эксплуатации. В настоящее время сборка высокоскоростных шпиндельных узлов проводится в термостатированных помещениях по строго определенной методике с контролем отклонений отдельных деталей от заданной геометрии. После сборки шпиндель подвергается многочасовой обкатке на специальном стенде с регистрацией температуры в нескольких точках узла и момента сопротивления вращению. Пока не везде контролируют вибрации, но уже понятно, что это

делать необходимо, поскольку перечисленных мероприятий может оказаться недостаточно при создании шпинделей и мотор-шпинделей со скоростями вращения более 15 000 об/мин. Здесь может быть полезным и даже необходимым применение существующих и новых методик ВА диагностики, позволяющих значительно глубже по сравнению с температурой проникать в сущность процессов, протекающих в опорах шпиндельных узлов при холостом вращении, при работе под нагрузкой, при повышении температуры [3-5].

ВА диагностика состояния подшипников традиционно проводится на основе метода спектрального разложения огибающей высокочастотного сигнала [5-9]. Это связано с тем, что при разложении в спектр исходного ВА сигнала получается сложная комбинация спектральных максимумов, которые не всегда удается идентифицировать. Анализ огибающей высокочастотного ВА сигнала позволяет выделять только те частоты, где присутствуют источники возмущений, создающие ударное взаимодействие тел качения, ведущее к постепенному разрушению подшипника. На рис. 1 представлены подобные разложения для двух шпинделей. На рис. 1а показан спектр огибающей шпинделя № 1, который после часовой обкатки на 9 000 об/мин имел температуру нагрева корпуса в месте установки передних подшипников на 15 градусов ниже по сравнению со шпинделем № 2, спектр огибающей которого приведен на рис. 1 б. Для построения огибающей из регистрируемого ВА сигнала с помощью полосового фильтра была выделена составляющая в диапазоне от 2,8 до 5,6 кГц. Далее определялось эффективное значение амплитуды сигнала последовательно для заданных (в соответствии с требуемым частотным диапазоном спектрального разложения) интервалов времени. На обоих спектрах видно по три основных составляющих, которые проявляются на первой, второй и третьей гармониках частоты вращения сепаратора относительно наружного кольца. Традиционно проявление частоты вращения сепаратора говорит о перекосе наружного кольца подшипника или о заедании тел качения в сепараторе [8].



а



б

Рис. 1 – Спектры огибающей ВА сигнала со шпинделя № 1 (а) и шпинделя № 2 (б) в октавной полосе с центральной частотой 4 кГц при частоте вращения 9000 об/мин

В приведенном примере в обоих шпинделях проявляются колебания, связанные с вращением сепаратора, однако видно, что у второго шпинделя амплитуда этих гармоник в несколько раз больше, чем у шпинделя № 1.

Основная проблема диагностирования шпиндельных узлов на стадии изготовления заключается в том, чтобы идентифицировать дефект до такой глубины, которая позволит в дальнейшем без разборки узлов определять необходимый объем корректирующих мероприятий в технологии изготовления. На начальной фазе внедрения методов ВА диагностики это сложная проблема, поскольку содержащаяся в литературных источниках информация не позволяет точно указать, на что необходимо обратить внимание в технологии сборки шпиндельных узлов для исключения в дальнейшем возникающих несоответствий. В связи с этим надо использовать каждую возможность для

непосредственного сопоставления выявленных с помощью анализа ВА сигналов несоответствий с результатами изучения геометрии разобранных подшипников. В данной работе приводится пример такого сопоставления.

На рис. 2 показан пример записи ВА сигнала шлифовального шпинделя, работа которого сопровождалась недопустимыми вибрациями. На рисунке, на нижнем графике показаны отметки оборотов шпинделя, а на записи отмечен временной отрезок, соответствующий одному обороту сепаратора переднего подшипника. Видно, что запись ВА сигнала имеет модуляцию, определяемую прохождением каждого шарика. На обороте сепаратора присутствуют семнадцать локальных максимумов, соответствующих числу шариков. Просматривается и другая модуляция, соответствующая 4-кратной оборотной частоте сепаратора.

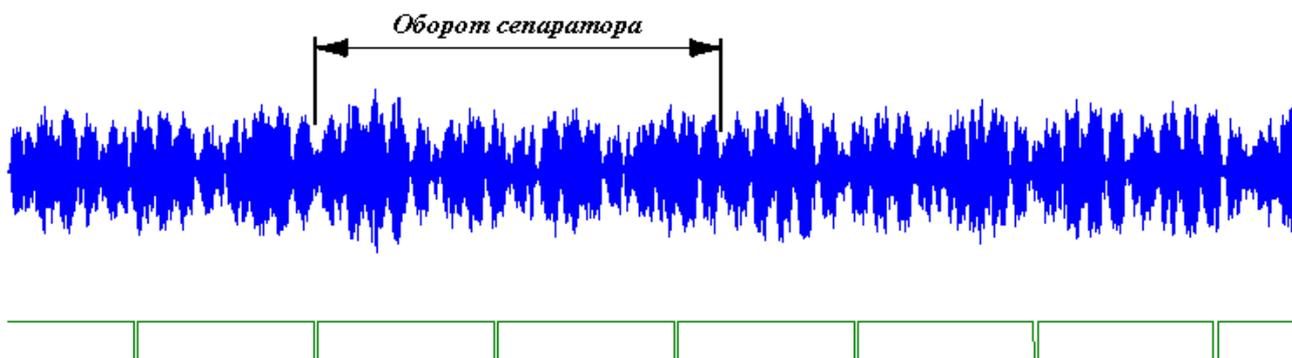


Рис. 2 – Запись ВА сигнала на корпусе шпиндельного узла около передней опоры при 2447 об/мин

На рис. 3 показан спектр огибающей ВА сигнала в октавной полосе 4 кГц. Из геометрии подшипника можно было определить, что частота 18 Гц – это оборотная частота сепаратора  $f_c$ , 72 Гц – это 4-я гармоника оборотной частоты сепаратора ( $4f_c$ ), 306 Гц и 612 Гц – это частота мелькания шариков по наружному кольцу  $f_{нк}$  и вторая гармоника этой частоты, соответственно,  $2f_{нк}$ . Частоты 234 и 378 Гц являются «боковыми» частотами относительно частоты мелькания шариков. Эти частоты выше и ниже основной частоты 306 Гц на 4-кратную частоту вращения сепаратора, соответственно,  $f_{нк} \pm 4f_c$ . Такие же боковые частоты (540 и 684 Гц) имеет и вторая гармоника частоты мелькания шариков.

Для сравнения на рис. 4 показаны примеры записей ВА сигналов, зафиксированных в радиальном направлении у задней и передней опор шпинделя. Видно, что сигнал, фиксируемый в районе передней опоры, характеризуется не только относительно большой амплитудой, но и нестабильностью во времени. В результате анализа ВА сигналов передней подшипник был заменен, и проведены исследования его геометрии.

Анализ спектра огибающей ВА сигнала показал, что передней опоре шпинделя свойственны погрешности,

связанные с частотой вращения сепаратора. Это и гармоники, кратные частоте вращения сепаратора, и амплитуды на частотах кратных частоте мелькания шариков по наружному кольцу. В литературе [7, 8] они трактуются как перекос наружного кольца подшипника. Однако настораживает очень четкое проявление на записях ВА сигнала процесса прохождения шариков по наружному кольцу. На рис. 5 показана экспериментальная установка и полученное с ее помощью изображение «слепок» наружного кольца подшипника, восстановленного по круглограммам, полученным на кругломере мод Serfcom 1800D-12 в нескольких сечениях дорожки качения. Видно, что на поверхности «слепок» наблюдается выступ, величина которого меняется по ширине профиля дорожки качения. Этот факт объясняет эффект выделения в ВА сигнале прохождения каждого шарика по наружному кольцу. Неравномерность выступа по ширине дорожки может объяснить модуляцию с частотой  $4f_c$ . Из-за перекоса наружного кольца траектория движения шариков в течение оборота сепаратора меняет свое положение на дорожке качения, что приводит к тому, что пересечение выступа на наружном кольце происходит на разном удалении от его максимума.

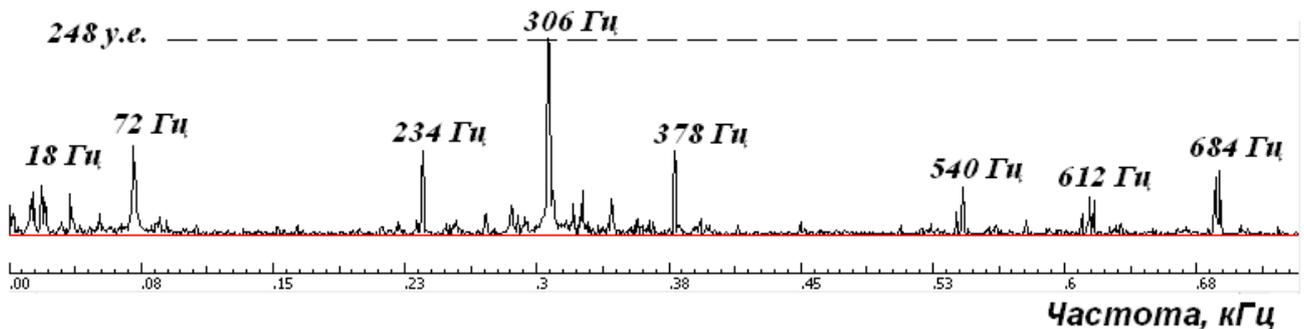


Рис. 3 – Спектр огибающей ВА сигнала на корпусе шпинделя при 2447 об/мин

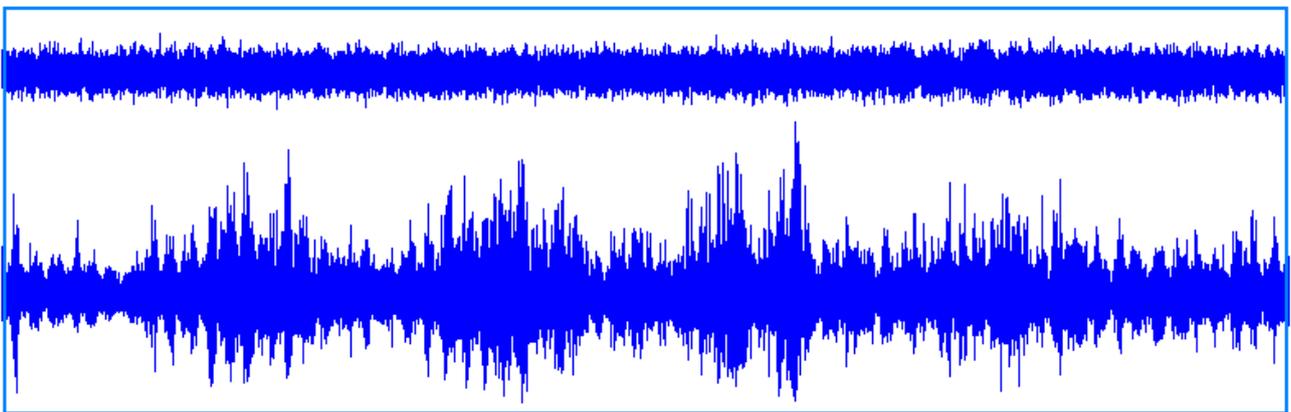
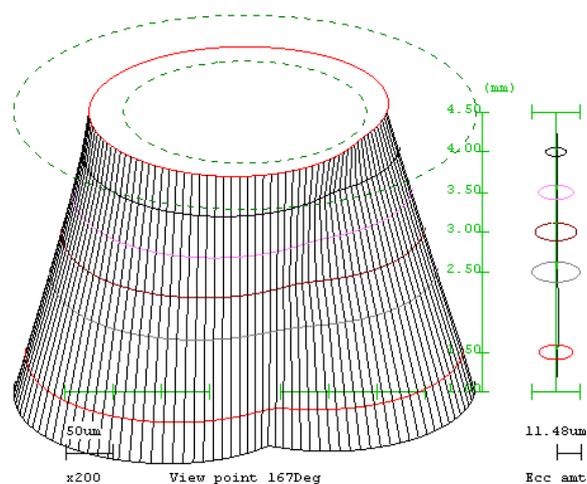


Рис. 4 – Записи ВА сигналов с корпуса шпинделя при 1500 об/мин:  
с задней опоры (верхний график)  
и с передней опоры (нижний график). Время записи 3 с



а



б

Рис. 5 – Получение «слепок» дорожки качения наружного кольца подшипника (а) и фото кругломера Serfcom 1800D-12 (б)

Картина, показанная на рис. 4, говорит о том, что у ВА сигнала на передней опоре присутствует и другая модуляция с очень низкой частотой, проявляющаяся с приблизительно периодичностью 0,64 с. Это может говорить о сложном сочетании геометрических погрешностей внутреннего и наружного колец и влиянии их взаимного перекоса. В этих условиях наиболее неудачное сочетание погрешностей колец и положения траектории шариков возникает сравнительно редко, но проявляется в виде значительного роста амплитуды ВА сигнала, как и показано на рис. 4. Надо учитывать, что на автономном подшипнике нельзя отследить те дополнительные деформации колец, которые возникают после его установки в расточные отверстия корпуса и на вал шпинделя. На поверхности дорожки внутреннего кольца, восстановленной по аналогии с наружным кольцом с помощью Serfcom 1800D-12, тоже просматривается дефект, выраженный в виде «вмятины», имеющей переменные размеры по ширине профиля дорожки качения. Теперь низкочастотную модуляцию ВА сигнала, снимаемого с передней опоры, можно объяснить сложным сочетанием позиций погрешностей колец друг относительно друга и вариацией траектории движения тел качения относительно этих погрешностей. То есть самое неудачное сочетание взаимных положений погрешностей колец и траекторий шариков возникает относительно редко, но влияет на развитие дефектов и на качество обработки.

Несмотря на то, что частоты кинематического возмущения в отдельных подшипниках сравнительно легко определяются, анализ качества работы всего шпиндельного узла остается сложной задачей. Решение этой задачи необходимо для контроля и мониторинга состояния шпиндельных узлов, как на стадии сборки, так и на стадии эксплуатации. В основе такого решения лежит

накопление базы данных о реальных погрешностях деталей опор и особенностях их монтажа, и отображении этих особенностей в диагностических параметрах [8, 10]. Дополнительные задачи возникают в связи с тем, что после окончательного монтажа шпиндельного узла с новыми опорами погрешности изготовления, отображающиеся в ВА сигнале, уже присутствуют. Скорости развития разного рода дефектов в условиях эксплуатации технологического оборудования могут быть разными. На них влияют и начальный уровень дефектов, и условия эксплуатации. Наличие этой информации позволит более обоснованно предъявлять требования к изготавливаемому и приобретаемому оборудованию, и вести целенаправленный мониторинг эксплуатируемых станков. Для этого на машиностроительных предприятиях необходимо шире внедрять методику периодического контроля состояния шпиндельных узлов с помощью, например, ВА диагностики. На первых порах можно наладить контроль только финишного оборудования с применением самых простых методик. Ниже для примера показаны результаты анализа ВА сигналов, снятых с разницей в 8 месяцев с токарного обрабатывающего центра мод. RNC 400, функционирующего в заводских условиях.

На рис. 6 показана фотография шпинделя станка с установленными на корпусе акселерометрами, располагающимися по координатным осям станка. Вращение шпинделя составляло 3000 об/мин, датчики устанавливались в одинаковых местах. Для выявления дефектов подшипников с помощью методов ВА диагностики рекомендуется проводить их испытания под нагрузкой. В данном случае, для поддержания однородности условий, испытания проводились на холостом ходу. Результаты показали, что даже без нагрузки отчетливо проявляется изменение состояния опор шпинделя.

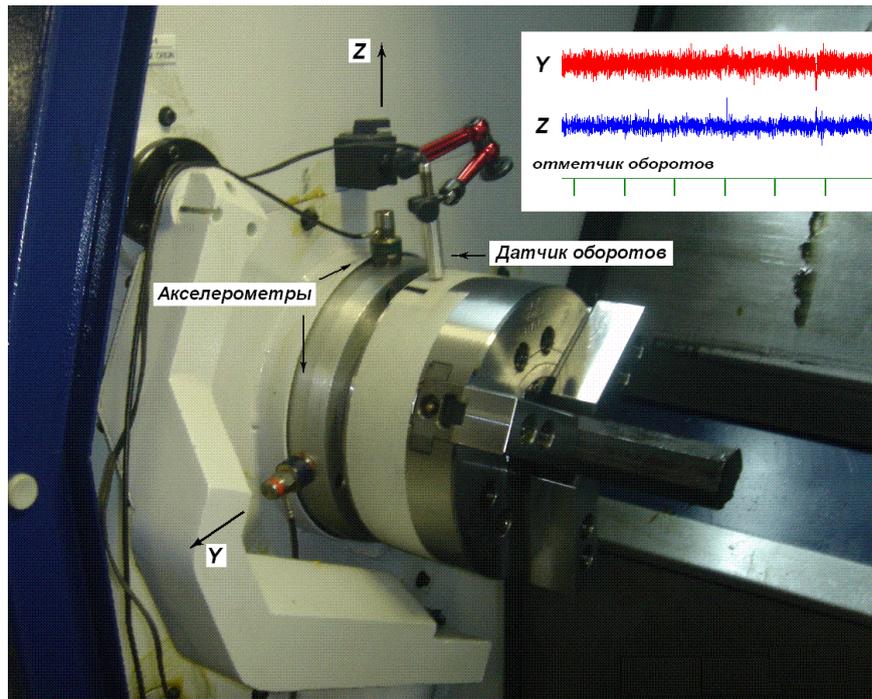


Рис. 6 – Расположение акселерометров и отметчика оборотов на корпусе шпиндельного узла токарного станка  
(вверху пример записи ВА сигналов)

На рис. 7 представлены третьоктавные спектры ВА сигналов, записанные при вращении шпинделя на холостом ходу в разные периоды времени с разницей в 8 месяцев.

Сравнение спектров показывает, что за 8 месяцев эксплуатации эффективная амплитуда во всех частотных диапазонах значительно возросла. Например, в районе

5 кГц амплитуда выросла в 4 раза. Быстрый рост высокочастотной составляющей ВА сигнала говорит о развитии ударных процессов в опорах шпинделя, которые без своевременного вмешательства приведут к выходу из строя всего узла. На рис. 8 показано, как изменились записи высокочастотного ВА сигнала по разным осям за 8 месяцев эксплуатации станка.

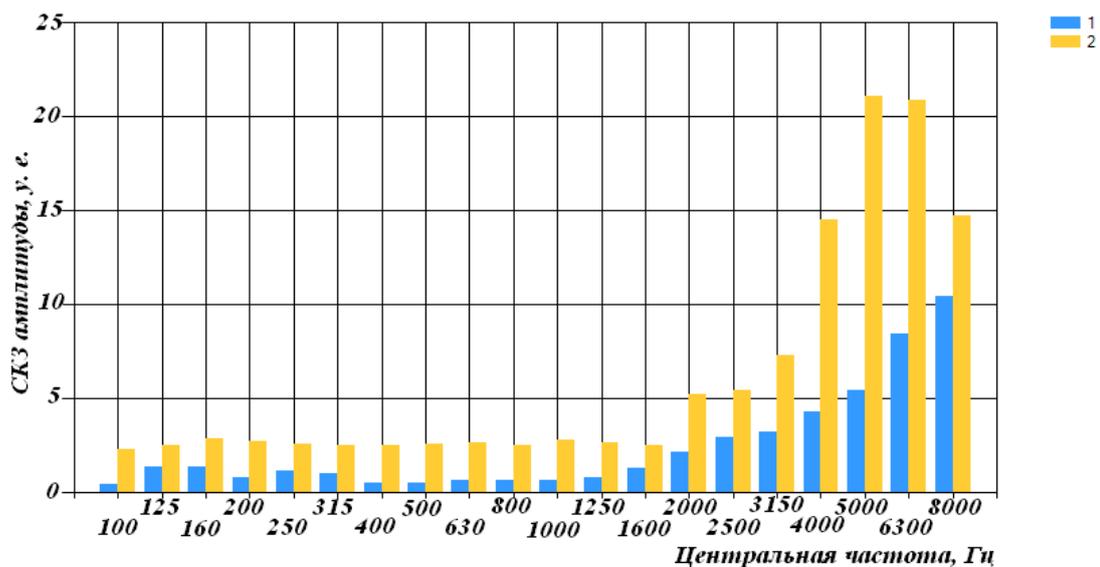


Рис. 7 – Третьоктавные спектры ускорения ВА сигнала на корпусе шпинделя при 3000 об/мин:  
1 – 2011 год; 2 – 2012 год

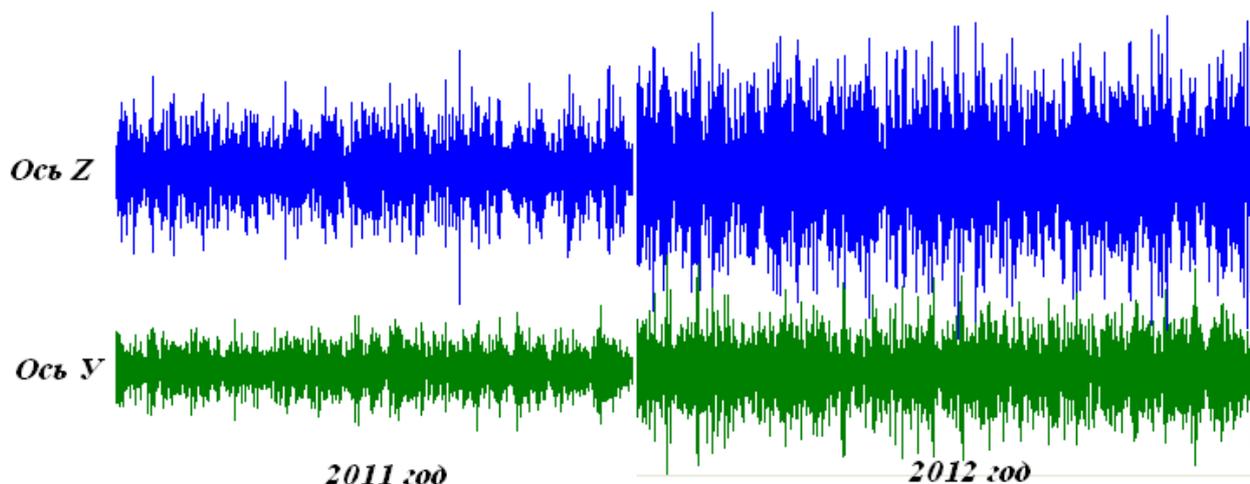


Рис. 8 – Примеры записей высокочастотной составляющей ВА сигнала на корпусе шпинделя по осям Z и Y в разные периоды времени

К рис. 7 и 8 можно добавить результаты наблюдения за развитием пик-фактора [8] по разным осям. Пик-фактор определяется как отношение пиковых значений амплитуды ВА сигнала к его эффективному значению. Несмотря на рост эффективного значения амплитуды ВА сигнала по обеим осям, пик-фактор по оси Z снизился с 5,6 до 4,1, а по оси Y вырос с 4,74 до 6,0. Если рассматривать 5 этапов деградации подшипника [8] применительно к разным осям, то положение по оси Z соответствует третьему этапу, где пиковые значения ВА сигнала приближаются к насыщению, а рост эффективных значений ускоряется, а положение по оси Y соответствует первому этапу, где рост пиковых значений опережает рост эффективных значений. Первый этап говорит о возникновении дефекта в процессе эксплуатации, а третий – о переходе подшипника к полной деградации. Для шпиндельных подшипников появление признаков первого этапа свидетельствует о необходимости принимать меры, работа в условиях третьего этапа деградации является недопустимой. Признаки третьего этапа свидетельствуют о необходимости замены подшипника.

Конкретно о причинах изменения состояния подшипника можно говорить после спектрального анализа огиба-

ющей ВА сигнала. На рис. 9 показан спектр огибающей высокочастотной составляющей ВА сигнала по оси Y для 2012 года, где есть отметки амплитуд отдельных составляющих, полученных в 2011 году восемь месяцев назад.

На спектре огибающей (рис. 9) выделяются составляющие, соответствующие таким частотам: частоте вращения сепаратора (22 Гц), оборотной частоте (50 Гц), гармоникам оборотной частоты (100 Гц, 150 и т. д. до 350 Гц), частоте мелькания шариков по наружному кольцу фш (560 Гц), частотам боковых составляющих, расположенных с шагом 50 Гц выше и ниже 560 Гц. На частоте 1120 Гц располагается вторая гармоника частоты 560 Гц. Сравнение спектров на рис. 9 показывает, что выросли амплитуды почти всех составляющих. Рост амплитуды на частоте фш говорит о росте интенсивности соударения тел качения. Особенно об этом говорит многократный рост амплитуд боковых составляющих – энергии ударов хватает на создание множества составляющих. Рост амплитуды на оборотной частоте говорит об увеличении зазора в подшипнике, что вызывает рост дисбаланса. Можно отметить, что относительно 8-ми месяцев эксплуатации скорость развития дефектов очень большая. Скорости развития дефектов определяют их значимость при дальнейшем мониторинге.

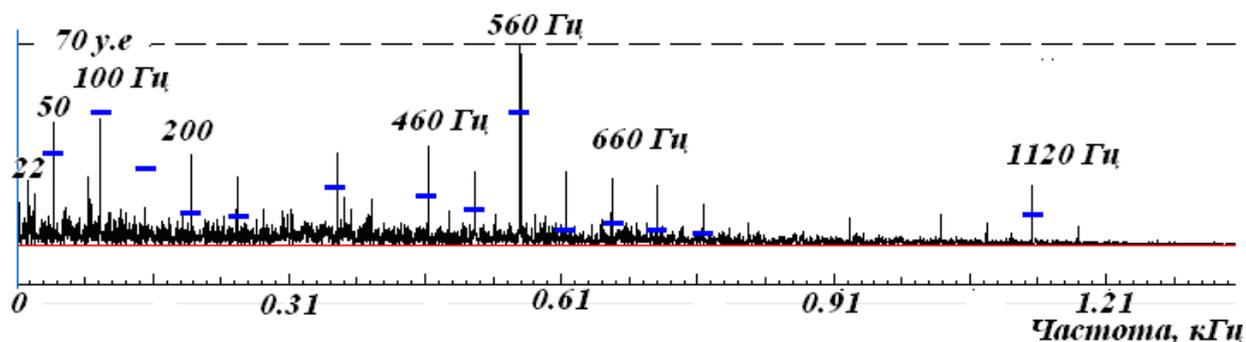


Рис. 9 – Спектр огибающей высокочастотного ВА сигнала по оси Y при 3000 об/мин, полученный в 2012 году (черточками отмечены амплитуды спектральных составляющих 8 месяцев назад)



В заключение можно отметить следующее: регулярный мониторинг с помощью мобильных средств диагностики [3, 4] состояния шпиндельного узла с регистрацией эффективных и пиковых значений ВА сигнала в одном из частотных диапазонов может позволить достаточно точно устанавливать момент перехода опор подшипника к началу опасной деградации; контролировать ВА сигнал необходимо не в одном из радиальных направлений, а в двух или более. Существующие приборы вибрационного контроля не могут оценивать скорость развития

дефектов шпиндельных узлов, только регулярные (например, раз в 6 месяцев) замеры и регистрация параметров вибраций (эффективные и пиковые амплитуды, спектры огибающей ВА сигналов) могут дать информацию о скорости развития дефектов и этапе деградации опор шпиндельного узла. Анализ накопленных данных позволит ранжировать дефекты шпиндельных опор по скорости развития и степени влияния на качество оборудования. Это позволит вести их целенаправленную оценку еще на стадии закупки оборудования.

#### Литература:

1. Бушуев В.В., Кузнецов А.П., Сабиров Ф.С., Хомяков В.С., Молодцов В.В. Проблемы точности и эффективности современных металлорежущих станков // СТИН. –2016. – № 2. – С. 6–16.
2. Игнатъев С.А., Игнатъев А.А., Иващенко В.А. Автоматизированные системы мониторинга технического состояния технологического оборудования // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2009. – № 8. – С. 43-47.
3. Сабиров Ф.С., Шемякин А.А. Оперативная оценка виброустойчивости станков и состояния шпиндельных подшипников // Вестник машиностроения. –№ 8. – 2015. – С. 14-16.
4. Козочкин М.П., Порватов А.Н., Сабиров Ф.С. Оснащение технологического оборудования информационно-измерительными системами // Измерительная техника. – 2012. – № 5. – С. 29-32.
5. Поляков А.Н. Построение закона распределения функции температуры в тепловой модели шпиндельного узла на опорах качения // Техника машиностроения. –2001. –№ 3. – С. 82-88.
6. Игнатъев А.А., Бахтеев А.Р. Автоматизация распознавания дефектов шлифованных деталей в системе мониторинга технологического процесса производства подшипников // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. – Т. 3. № 1. –С. 136-142.
7. Козочкин М.П., Сабиров Ф.С. Выявление дефектов шпиндельных узлов виброакустическими методами // Вестник УГАТУ. Т.13. – 1(34). – 2009. – С. 133-138.
8. Козочкин М.П., Маслов А.Р., Сабиров Ф.С. Испытания и диагностика технологического оборудования: учебное пособие / М.: ИЦ МГТУ «Станкин», 2012. –250 с.
9. Юркевич В.В. Система прогнозирования точности токарных станков // Вестник машиностроения. – 2001. – № 8. – С. 44-48.
10. Юркевич В. В. Контроль и диагностика процесса формообразования при обработке на токарных станках // Контроль. Диагностика. – 2005 №.1. – С. 45-50.

#### УДК 621.791.72

*Тарасова Т.В.<sup>1</sup>, Филатова А.А.<sup>1</sup> (ФБОУ ВО МГТУ «Станкин»)*

### **Влияние режимов селективного лазерного плавления и коаксиальной лазерной наплавки на структуру и физико-механические свойства сплавов**

*Рассмотрены вопросы терминологии, определений и классификации технологий аддитивного производства. Показана принципиальная возможность получения твердого и износостойкого покрытия из порошков Ti и SiC методом коаксиальной лазерной наплавки, изучена принципиальная технологическая возможность использования СЛП для получения деталей из коррозионностойкой стали марки 20X13 с пределом прочности  $\sim 1584,09 \pm 3,58$  МПа. Выявлены механизмы формирования структуры исследуемых сплавов характерные для селективного лазерного плавления, лазерной наплавки. Исследованы физико-механические свойства сплавов.*

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, селективное лазерное плавление, лазерная наплавка, структура, коррозионностойкие стали.

#### Введение

Технологические процессы аддитивного производства в отличие от станков с числовым программным управлением позволяют конструировать изделие снизу вверх, непосредственно по модели, созданной в системе автоматизированного проектирования, без сложного планирования производства, поскольку фактически нуждаются только в данных о поперечном сечении конструкции. Технологии аддитивного производства первыми

позволили полностью интегрировать системы автоматизированного проектирования и производства [1]. В настоящее время существует около тридцати технологических процессов аддитивного производства, которые могут отличаться друг от друга по требованиям к конфигурации изделия (например, особо сложной формы), по принципам добавления материала и построения изделия, по составу исходного материала, по виду материала [2].



Устоявшейся классификации аддитивных технологий в настоящее время не принято ни в России, ни за рубежом. Существует множество классификаций по разным критериям.

Последняя классификация [3], предложенная ASTM, разделяет технологические процессы аддитивного производства по принципу построения изделия на 7 групп:

1. Экструзия материала (Material extrusion) — это процесс аддитивного производства, в котором материал выборочно продавливается через сопло или формующую головку.

2. Впрыскивание материала (Material jetting) — это процесс аддитивного производства, в котором капли строительного материала выборочно наносятся на изделие.

3. Впрыскивание связующего вещества (Binder jetting) — процесс аддитивного производства, в котором жидкий связующий компонент наносится выборочно на изделие.

4. Листовое ламинирование (Sheet lamination) — процесс аддитивного производства, в котором листы материала скрепляются для формирования объекта.

5. Фотополимеризация в ванне (Vat photopolymerization) — процесс аддитивного производства, в котором жидкий фотополимер в ванне выборочно затвердевает с помощью активируемой светом полимеризации.

6. Плавление порошкового основания (Powder bed fusion) — процесс аддитивного производства, в котором термическая энергия выборочно расплавляет области порошкового основания.

7. Нанесение под действием направленного источника энергии (Directed energy deposition) — процесс аддитивного производства, в котором сфокусированная тепловая энергия используется для нанесения на деталь порошкового материала (наплавка).

Опережающими группами технологических процессов аддитивного производства для металлических изделий являются группы:

I. Нанесение под действием направленного источника энергии (Directed energy deposition). В эту группу входят технологии коаксиальной лазерной наплавки, когда сфокусированное лазерное излучение и строительный материал (порошок) подводятся непосредственно в место построения изделия.

II. Методы плавления порошковых оснований. Термин, принятый ASTM (F42 on Additive Manufacturing Technologies) — технологический процесс аддитивного производства, где температурный источник тепла (луч лазера, электрона) селективно сплавляет или плавит область порошкового основания. В случае использования лазера как источника тепла технологический процесс известен как прямое лазерное спекание металлов (Direct metal laser sintering, DMLS) или селективное лазерное плавление (Selective laser melting, SLM).

В работах, по изготовлению деталей с помощью лазера из металлических порошков, наносимых слой за слоем на основе компьютерной 3D модели, проводимых в нашем университете, мы добиваемся полного расплав-

ления порошковых слоев, поэтому предлагаем называть процесс «селективное лазерное плавление (СЛП)», а не «селективное лазерное сплавление (СЛС)» [4, 5].

Аддитивное производство влияет на большое число показателей технологичности изделия: монолитность конструкции, металлоемкость, трудоемкость. Монолитные конструкции по сравнению со сборными более прочны и жестки; позволяют уменьшить трудоемкость сборочных работ, которые, как правило, выполняются вручную; обеспечивают внедрение автоматизированных средств обработки; упрощают планирование производства, складирование и комплектование технологических операций. Применение аддитивного производства определяет экономичность и прогрессивность конструкции, благодаря удельному соотношению различных материалов в общей металлоемкости, поскольку в ходе процессов материал добавляется, а не снимается. Изделия, получаемые путем аддитивного производства из мелкодисперсных порошков, по физико-механическим свойствам материалов превосходят традиционные технологические процессы — спекание и литье. Результатом интенсивного развития технологических процессов аддитивного производства в последние годы явился повышенный спрос на них на мировом рынке [6]. В данной работе мы рассматриваем возможности использования аддитивных технологий (селективного лазерного плавления, коаксиальной лазерной наплавки и микролазерной наплавки) для конкретных сталей и сплавов, применяемых в машиностроительной промышленности. Оборудование, материалы и методы проведения исследований

Экспериментальные исследования проводились по стандартным и оригинальным методикам с использованием аттестованных приборов и контрольно-измерительной аппаратуры. Изготовление опытных образцов и деталей методом селективного лазерного плавления осуществлялось на отечественной установке селективного лазерного плавления ПТК-ПС. Сканирование лазерным излучением осуществлялось согласно «Двузонной» стратегии сканирования с изменением направления сканирования на 90° от слоя к слою. В качестве исходного материала для изготовления опытных образцов и деталей был выбран отечественный порошок фирмы АО «ПОЛЕМА» из коррозионностойкой стали 20Х13, полученный газовой атомизацией. Химический состав порошка, % (масс.): (Осн.) Fe, (12,00 - 14,00) Cr, (0,16 - 0,25) C,  $\leq 0,80$  Si и Mn,  $\leq 0,030$  P,  $\leq 0,025$  S. Выбор порошка обусловлен потребностью современного машиностроения в сложнопрофильных деталях из коррозионностойких сталей. Гранулометрический состав исследуемых порошков определяли при помощи микроскопа «ОСНИО 500nano» фирмы ОСНИО S. А. (Бельгия) со встроенным программным обеспечением Callisto для статистической обработки данных. Установлено, что средний размер частиц порошка составляет  $d_{cp} = 20,47$  мкм. Частицы порошка имеют глобулярную форму и обладают высоким показателем сферичности (среднее значение 72,5%) и низким значением неровности (среднее значение 0,3%), что обеспечивает нанесение равномерного и однородного слоя [7].



Лазерная наплавка проводилась на промышленной установке Trumpf DMD 505. Сопло переносит порошок коаксиально лазерному лучу 5-ти кВт CO<sub>2</sub>-лазера непосредственно в ванну расплава, создаваемую на рабочей поверхности образца, 4-модульные питатели могут использоваться одновременно для смешивания порошка в процессе наплавки и, таким образом, становится возможно получение многофункциональных покрытий [8,9]. В работе мы представляем результаты эксперимента с порошками титана (TLS GD2) и карбида кремния SiC – 135. Средний размер частиц порошка составлял 50 мкм. Исследовалась возможность синтеза карбида титана (TiC) в наплавленном слое в целях получения композиционного покрытия, в котором армирующее вещество образуется в матрице непосредственно в процессе формирования слоя.

Рентгеноструктурный фазовый анализ проводили на рентгеновском аппарате для структурного анализа ALТ X'TRA (фирмы Thermo-Fisher Scientific, Швейцария) методом сканирования с фокусировкой рентгеновских лучей по Бреггу-Брентано. Микроструктура образцов анализировалась при помощи оптического микроскопа Olympus BX51 (Япония) и сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) VEGA 3 LM фирмы Tescan (Чехия).

Измерение шероховатости поверхностей опытных образцов проводили на профилографе-профилометре HOMMEL-TESTER T800 (Германия). Измерение твердости опытных образцов – по стандартной методике на автоматическом твердомере ERCOTEST DIGI 25RS.

Изучение механических свойств: предел прочности на растяжение, предел текучести, относительное удлинение – проводилось согласно ГОСТ 1497-84 на испытательной машине MTS Insight 100 (фирмы MTS Systems Corporation, США).

Износостойкость определяли с помощью высокоточного прибора kalоMAX NT (Германия). В качестве контртела использовался шар диаметром 30 мм из стали 100Cr6 (класс по DIN). Дистанция скольжения составляла 1400 – 1500 м, нормальная нагрузка на образец – 0.54 Н. На поверхность шара периодически дозировалась абразивная суспензия.

Результаты исследований и их обсуждение

### Селективное лазерное плавление

В целях разработки процесса изготовления деталей из коррозионностойкой стали 20Х13 методом селективного лазерного плавления исследовали влияние параметров процесса СЛП на комплекс физико-механических свойств образцов, изготовленных из исследуемой стали.

Установлены оптимальные значения параметров процесса селективного лазерного плавления для исследуемой стали. Выявлены механизмы формирования структуры характерные для селективного лазерного плавления. Микроструктура образца приведена на рис. 1.

На рис. 2 приведена микроструктура поверхности образца после плавления. При больших увеличениях (рис. 2) выявляются характерные для СЛП ячейки с ориентированной структурой. Микроструктуры поверхностного слоя после СЛП — одноосные дендриты, вытянутые

в направлении тепловода, что согласуется с расчетными значениями скорости охлаждения.

Микрорентгеноспектральный анализ показал равномерное распределение элементов сплава в зоне плавления после СЛП (рис.3).

При изготовлении изделий из порошков коррозионно-стойких сталей методом селективного лазерного плавления реализуется механизм закалки из жидкого состояния. При этом структура зон плавления определяется скоростью охлаждения. На микроструктурах образцов после СЛП дендриты не имеют осей второго порядка. Распределение элементов в ванне расплава при СЛП и в зоне плавления равномерное.

Изучены физико-механические свойства опытных образцов, изготовленных методом селективного лазерного плавления по оптимальным параметрам: плотность составляет  $7,709 \pm 0,004$  г/см<sup>3</sup>, твердость  $46,62 \pm 0,39$  HRC, шероховатость поверхности  $Ra = 1,70 \pm 0,19$  мкм,  $\sigma_{0,2} = 863,98 \pm 7,38$  МПа,  $\sigma_b = 1584,09 \pm 3,58$  МПа,  $\delta = 7,31 \pm 0,22\%$ . Анализ полученных данных показывает, что механические характеристики опытных образцов достаточно высоки, что характерно для сплавов, полученных в результате лазерной обработки с оплавлением поверхности. Это является следствием формирования структуры при скоростях охлаждения порядка  $\sim 10^6$  К/с.

### Коаксиальная лазерная наплавка

В процессе лазерной наплавки в наплавленных слоях протекают реакции и образуются новые фазы. Режимы лазерной наплавки определяют тип образовавшихся фаз, морфологию, характер распределения в матрице [8-13]. При использовании для формирования покрытий смеси порошков Ti и SiC наиболее важна реакция образования TiC. Карбид титана широко используется как армирующая фаза в композиционных материалах из-за высоких значений твердости. В большинстве случаев, армирующая фаза непосредственно добавляется в покрытие. Мы получаем TiC в результате синтеза при лазерном переплавлении порошков Ti и SiC. В процессе обработки при определенном соотношении порошков Ti и SiC происходит синтез карбида титана по схеме  $Ti + SiC \rightarrow TiC + Si$ . Необходимым условием получения TiC является выбор режимов, обеспечивающих расплавление Ti и SiC. Изменение структуры и фазового состава в зависимости от режимов наплавки и количественного соотношения Ti и SiC в порошковой смеси представлено на рис. 4.

Показано, что в получаемых покрытиях произошло полное переплавление исходных компонентов. Наблюдается увеличение дисперсности структуры при увеличении скорости перемещения луча (что соответствует увеличению скорости охлаждения). Уменьшение скорости приводит к образованию разветвлённых дендритных включений, которые достаточно равномерно распределены в покрытии.

Микрорентгеноспектральный анализ показал, что дендриты представляют собой карбид, обогащенный Ti, а матрица содержит Si, Ti, и C. В результате рентгеноструктурного анализа установлено образование в наплавленных слоях карбида титана.



В соответствии с поставленными целями, были выбраны следующие параметры наплавки: мощность лазера 3–5 кВт, скорость сканирования лазерного луча от 500 до 1000 мм/мин, массовый расход порошка составлял 9,6, 11,9 и 21,0 г/мин. Определены оптимальные режимы лазерной наплавки при которых в результате реакции между Ti и SiC в наплавленном слое образуется равномерно распределённый по покрытию TiC. Установлено, что значения микротвёрдости выше в случае соотношения исходной смеси Ti и SiC-6:5, чем при соотношении компонентов 6:4. Средние значения микротвёрдости наплавленной матрицы составляли 700-850 HV. Для областей с большим количеством

карбидных включений значения микротвёрдости составляли 1300-1500 HV и 1000-1300 HV при соотношении компонентов исходной смеси порошка 6:5 и 6:4 соответственно.

#### Выводы

1. Определены режимы селективного лазерного плавления для порошкового материала стали 20X13, позволившие изготовить сложнопрофильные детали для эксплуатации при высоких механических нагрузках.

2. Показана возможность получения твердого и износостойкого покрытия из порошков Ti и SiC методом коаксиальной лазерной наплавки.

#### Литература

1. Григорьев С.Н., Смуров И.Ю. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом. *Инновации*. –2013. –№ 10. – С. 76-82.
2. Silva J., Rezende R. Additive Manufacturing and its future impact in logistics // Center for Information Technology Renato Archer. – 2013. – 6 p.
3. ISO / ASTM52900-15, Standard Terminology for Additive Manufacturing – General Principles – Terminology, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
4. Григорьев, С. Н. Возможности технологии аддитивного производства для изготовления сложнопрофильных деталей и получения функциональных покрытий из металлических порошков / С. Н. Григорьев, Т. В. Тарасова // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 15.10.2015. – № 10. – С. 5-10
5. Тарасова Т.В. Технологические проблемы и перспективы внедрения метода селективного лазерного плавления для изготовления элементов конструкций летательных аппаратов [Текст] / Т.В. Тарасова, А.А. Филатова // *Современные наукоемкие технологии, оборудование и инструменты в машиностроении (МТЕТ-2014): Труды международной научно-технической конференции*. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та. – 2014. – С.255-265.
6. Allison A., Scudamore R. Additive Manufacturing: Strategic Research Agenda // TWI Ltd. – 2013. – 62 p.
7. Тарасова, Т. В. Методы контроля гранулометрического состава порошков коррозионно стойких сталей отечественного производства / Т.В. Тарасова, А.А. Филатова, К.Э. Протасов // *Вестник МГТУ Станкин*. 2016. № 1 (36). С. 53-58.
8. Grigoriev S.N. Microcladding of hypereutectic Al-Si alloys: technological aspects and structure features [Text] / S.N. Grigoriev, T.V. Tarasova, G.O. Gvozdeva, Nowotny St. // *International Journal of Cast Metals Research*. – 2014. – Vol. 27. – Issue 6 – P. 357-361.
9. Grigoriev S.N. Structure Formation of Hypereutectic Al-Si-Alloys Produced by Laser Surface Treatment [Text] / S.N. Grigoriev T.V. Tarasova, G.O. Gvozdeva, Nowotny St. // *Journal of Mechanical Engineering*. – 2014. – Vol. 6. – №6. – P. 389-394. – DOI:10.5545/sv-jme.2013.1211.
10. Тюрбеева Т.Б., Волкова Г.Д., Григорьев О.Г. Анализ и моделирование процесса создания прикладных автоматизированных систем на основе применяемых решений // *Вестник МГТУ Станкин*. Московский государственный технологический университет Станкин. – 2013. – № 2.
11. Тарасова Т.В., Назаров А.П. Исследование процессов модификации поверхностного слоя и изготовления трехмерных машиностроительных деталей посредством селективного лазерного плавления // *Вестник МГТУ СТАНКИН*. 2013. –№2 (25). –С. 17-21.
12. Smurov I., Doubenskaia M., Grigoriev S., Nazarov A. Optical monitoring in laser cladding of Ti6Al4V *Journal of Thermal Spray Technology*. 2012. T. 21. № 6. С. 1357-1362
13. Тарасова Т. В. Формирование покрытий методом лазерной наплавки порошков титана и карбида кремния на поверхность малоуглеродистой стали [Текст] / Т. В. Тарасова, Е. В. Попова // *Трение и износ*. – 2013. – Т. 35. – № 11. – С. 1487-1500.



## ✦ ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ – 2017



- 160 лет со дня рождения К.Э. Циолковского (основоположника ракетостроения и космонавтики) 17 сентября 1857;
- 110 лет со дня рождения С.П. Королева (главного конструктора ракетно-космической техники), 12 января 1907г;
- 80 лет со дня рождения первой в мире женщины-космонавта Героя Советского Союза В.В. Терешковой 6 марта 1937 г;
- 70 лет Первый пуск ракеты А-4 (серия изделий «Т» полигон Капустин Яр) произведен 18 октября 1947 г;
- 60 лет со дня запуска первого искусственного спутника Земли «Спутник-1» 4 октября 1957 г;
- 60 лет со дня запуска первой ракеты-носителя «Р-7» 21 августа 1957 г;
- 40 лет со дня запуска долговременной орбитальной станции «Салют-6» 29 сентября 1977 г;
- 30 лет со дня первого запуска РН «Энергия - Полюс» 15 мая 1987 года.



**НПО ТЕХНОМАШ**



ФГУП «НПО»ТЕХНОМАШ»  
г. Москва  
3-й проезд Марьиной Рощи, д.40  
[www.tnpro.ru](http://www.tnpro.ru)