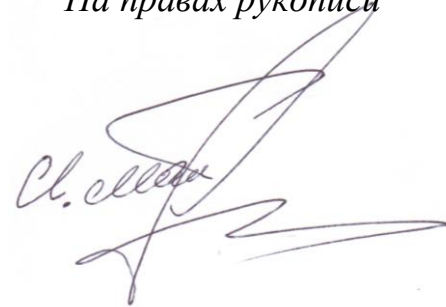


На правах рукописи

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'И. А. Матвеев', is written over a light gray rectangular background.

Матвеев Иван Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТРУБНЫХ КОРПУСОВ-ОБОЛОЧЕК
С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ
ПРИ ОБРАБОТКЕ И СБОРКЕ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тульский государственный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Ямников Александр Сергеевич.

Официальные оппоненты: **Киричек Андрей Викторович,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» (г. Брянск), проректор по перспективному развитию, профессор кафедры «Инструментальное производство»;

Канатников Никита Владимирович,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» (г. Орел), ведущий инженер сектора перспективного развития научных исследований, доцент кафедры «Машиностроения».

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»,**
(г. Липецк).

Защита диссертации состоится «05» февраля 2019 г. в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.271.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» по адресу: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92 (9 – 101).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» и на сайте:

http://tsu.tula.ru/science/dissertation/diss-212-271-01/Matveev_IA/

Автореферат разослан «11» декабря 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Черняев Алексей Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Реактивные системы залпового огня (РСЗО) находятся на вооружении армий ведущих мировых держав. Существенное расширение круга огневых задач, решаемых РСЗО в современном общевойсковом бою, необходимость поражения целей различных конфигураций и размеров выдвигают требование к оптимизации рассеивания реактивных снарядов (РС) и повышению точности стрельбы. Одной из ответственных корпусных деталей РС, оказывающих влияние на тактико-технические характеристики (ТТХ) РСЗО, является труба двигателя. Растущая потребность в производстве данных изделий, наряду с предъявляемыми к ним высокими требованиями по точности геометрической формы и размерам, качеству поверхности и механическим свойствам, связанным с обеспечением надежности эксплуатации в условиях агрессивной среды, высоких температур и давлений, определяют необходимость совершенствования методов их изготовления. Исходя из этого, в современном машиностроении наблюдается тенденция к уменьшению металлоемкости изделий при сохранении их функциональных характеристик. Такое направление достигается за счет минимизации толщины стенок при одновременном повышении прочности материала. При этом основные технологические затруднения возникают при обработке изделий нежесткой конструкции, к которым относятся трубы двигателя. На предприятии АО «НПО «СПЛАВ» стоит вопрос повышения точностной надежности обработки труб длиной более 1 м.

Проводимые ранее исследования по повышению точности изготовления и сборки труб двигателя, рядом авторов: Ямниковым А.С., Семиным В.В., Илюхиным А.Ю., Минаевым В.С., Илюхиной О.В. и другими, связаны с методом штамповки. В данный момент используется метод ротационной вытяжки, внедренный в действующее производство на основе исследований авторов: Трегубова В.И., Белова А.Е., Яковлева С.С. и других, где влияние наследственных связей ранее не изучалось. Исходя из необходимости повышения ТТХ РС, *актуальным* является обоснование новых технологических решений, обеспечивающих заданную точность обработки, и снижающих трудоемкость изготовления труб двигателя.

Цель работы заключается в повышении размерной и массовой точности труб двигателя путем снижения влияния технологической наследственности. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать точность изготовления труб двигателя из заготовок, полученных методами штамповки и ротационной вытяжки.
2. Провести теоретические и экспериментальные исследования по выявлению технологического наследования погрешностей изготовления трубы двигателя и их передачи на погрешности сборки.
3. Провести компьютерное моделирование и экспериментальное определение погрешностей закрепления труб двигателя.
4. Исследовать и обосновать рациональные схемы технологического контроля биения базовых поверхностей заготовки и сборного корпуса реактивного снаряда при учете систематических погрешностей формы и положения базовых поверхностей.
5. Разработать рекомендации по совершенствованию технологического процесса изготовления труб и сборки двигателя и внедрить результаты исследований в производство.

Объектом исследования являются технологические процессы механической обработки труб и сборки двигателя.

Предметом исследования является выявление и формализация наследственных связей в виде регрессионных и корреляционных зависимостей в комплексной технологии изготовления трубы двигателя способами давления и резания и сборки двигателя.

Методологической базой исследований является определение технологических закономерностей передачи наследственных связей от предшествующих операций к последующим, на базе которых формируются выходные параметры изделий при сборке.

Теоретической базой исследований являются теоретические основы технологии машиностроения, математическая статистика, теория технологической наследственности, теория резания.

Экспериментальной базой исследований являются действующие технологические процессы производства труб двигателя на АО «НПО «СПЛАВ», поверенные универсальные измерительные приборы и специальные контрольные стенды, используемые в АО «НПО «СПЛАВ».

Научные результаты, выносимые на защиту:

1. Теоретическая и экспериментальная зависимость влияния наследственных связей на точностные параметры изделий и пути их снижения.
2. Компьютерное моделирование погрешностей закрепления и обработки труб двигателя.
3. Экспериментальные исследования погрешностей закрепления, подтверждающие их адекватность компьютерному моделированию.
4. Методы реализации путей снижения влияния технологической наследственности.

Научная новизна.

Установлены зависимости, связывающие параметры полуфабриката на начальных стадиях технологического процесса (твердость материала, колебания внутреннего диаметра заготовки трубы), и характерных схем базирования и закрепления заготовок с параметрами точности готовой трубы (радиальное и торцовое биение базовых поверхностей, объем камеры сгорания, масса трубы), а также с параметрами геометрической точности собранных двигателей (фактический размер вхождения и биение соплового отверстия).

Уточнена зависимость зазора между прилегающими контурами собранного ступенчатого корпуса и искривленным цилиндрическим отверстием, обеспечивающего гарантированное вхождение ступенчатого корпуса в отверстие.

Теоретическая значимость работы заключается в установлении зависимостей, связывающих влияние наследственных свойств труб двигателя при комбинировании обработки давлением и резанием.

Практическая значимость работы. Даны рекомендации по повышению точности процессов токарной обработки труб двигателя и их сборки на основе предложенных технологических решений. В частности, теоретически обоснованы изменение схемы базирования на финишной операции одновременной подрезки базовых торцов трубы и применение зажима с регламентированной силой.

Доказано, что для контроля радиального биения деталей, имеющих существенную овальность базовых поверхностей, целесообразно использовать призмы с углом 90° , исключая влияние овальности на измерение радиального биения.

Обоснован и предложен новый способ непосредственного измерения размера прилегающего контура собранного ступенчатого корпуса и искривлен-

ным цилиндрическим отверстием, обеспечивающего гарантированное вхождение ступенчатого корпуса в отверстие.

Экспериментальные исследования произведены в производственных условиях на АО «НПО «СПЛАВ». Технологические рекомендации, разработанные на основании исследований, приняты к внедрению на данном предприятии. Ожидаемый экономический эффект составит 100 тыс. рублей в год.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа представляет собой обоснование новых технологических решений, обеспечивающих заданную точность обработки, повышения массовой точности, и снижающих трудоемкость изготовления труб двигателя.

Содержание исследований соответствует специальности 05.02.08 «Технология машиностроения». Область исследования: №2 (технологические процессы, операции, установки, позиции, технологические переходы и рабочие ходы, обеспечивающие повышение качества изделий) и №6 (технологическая наследственность в машиностроении).

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на Всероссийских конференциях, конференциях с международным участием и международных симпозиумах, а также на ежегодных НТК преподавателей и сотрудников ТулГУ в 2015-2018 г.: XIV ВНТК студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых: «Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов», Тула, 2015 г.; XV ВНТК с международным участием: «Механика XXI века», Братск, 2016 г.; МНТК: «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении», Севастополь, 2016 г.; Международный научный симпозиум технологических машиностроителей: «Перспективные направления развития финишных методов обработки деталей; виброволновые технологии», Ростов-на-Дону, 2016 г.; XVII ВНТК: «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации - 2016», Пермь, 2016 г.; XIII МНТК молодых исследователей: «Содружество наук. Барановичи-2017»; XIII МНТК: «Динамика технических систем - 2017», Ростов-на-Дону, 2017 г.

Публикации результатов работы. По материалам диссертации опубликовано 38 научных работ, в том числе 19 статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, из них 2 статьи, входящие в международную систему цитирования Scopus, а также одна монография.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из: введения; шести глав; заключения; списка сокращений и условных обозначений; словаря терминов; списка литературы; приложений. Основная часть работы изложена на 168 страницах, содержит 69 рисунков, 23 таблицы. Список использованных источников включает 120 наименований.

Автор выражает благодарность: научному руководителю д-ру техн. наук, проф. **А.С. Ямникову**; д-ру техн. наук, проф. **В.И. Трегубову**; **В.К. Ганову** за оказанную помощь при выполнении работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, направленной на решение важной научно-технической задачи повышения размерной и массовой точности труб двигателя за счет реализации путей снижения влияния технологической наследственности.

В первой главе проведен анализ действующего производства труб двигателя, требований к ним и фактическое их выполнение. При классической тех-

нологии изготовления труб двигателя, включающей в себя вырубку кружка из листового проката, имеющего анизотропное строение материала, свертку и несколько переходов вытяжки с чередованием операциями термической обработки, погрешности формы труб двигателя при этом составляют долю от допуска на диаметральные поверхности. При обработке резанием эти погрешности уменьшаются в соответствии с законом копирования погрешностей, однако анизотропия материала приводит к появлению новых видов погрешностей формы: овальности и кривизны тел труб двигателя. Проведенный статистический анализ точности технологического процесса сборки труб двигателя, показал, что поля рассеивания выходных параметров качества от 20 до 30 % изделий превышают существующие допуски. То есть технологический процесс изготовления труб двигателя при использовании листового проката не обладает необходимой надежностью. В настоящее время при изготовлении труб двигателя (рис. 1) все чаще используют ротационную вытяжку. Преимуществами, используемого метода, является уменьшение массы изделия и сокращение трудоемкости сборки.

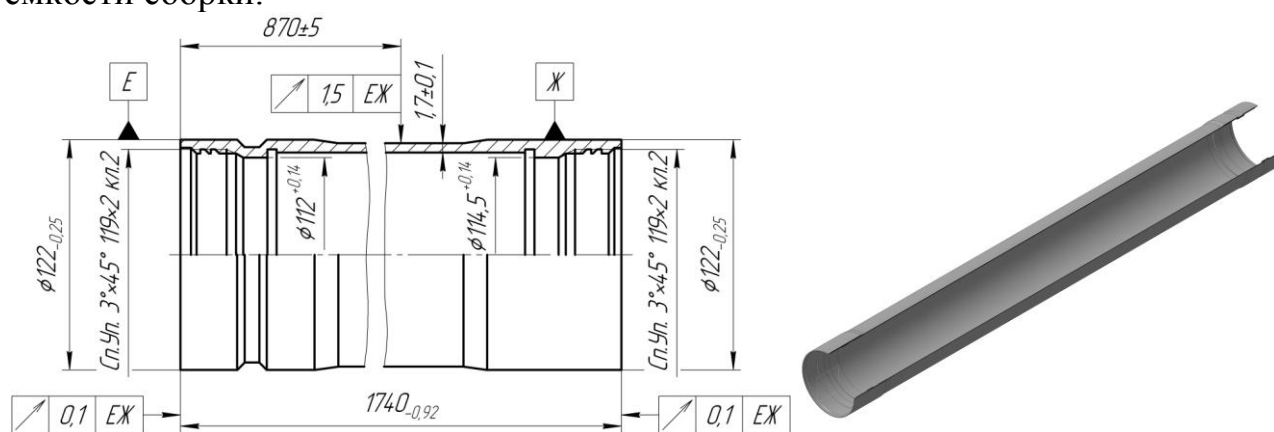


Рис. 1 Конструкция цельной трубы двигателя

Результаты проведенного статистического анализа показали, что изделия находятся в заданных пределах допусков по точности и качеству поверхности. Однако имеется значительный разброс показаний параметров труб двигателя, а именно: по точности базовых поверхностей, твердости, массе и внутреннему объему. Фундаментальные основы точности обработки с учетом технологической наследственности базируются на работах: Соколовского А.П., Дальского А.М., Васильева А.С. и других. Обзор ранее проведенных работ показал, что исследования технологического наследования свойств тонкостенных заготовок, получаемых методом ротационной вытяжки, ранее не производились. Все предшествующие работы не использовали в исследованиях деформирования программы трёхмерного моделирования.

В заключение главы сформированы цели и задачи диссертационных исследований.

Во второй главе сделан анализ точности изготовления труб двигателя при использовании заготовок, полученных методом ротационной вытяжки. Использование этого метода в действующем производстве включает в себя схему, где на оправке, на которой базируется оболочка, путем деформации тремя роликами достигается практически четырехкратное утонение стенки с 7 до 1,7 мм

на длине почти 2 м, что делает процесс экономически выгодным по сравнению со штамповкой. В диссертации сделан анализ технологии изготовления трубы двигателя. Исходной заготовкой является труба размером 110×14 мм по ТУ 1308-005-33116077-2001 из конструкционной комплексно-легированной стали 12ХЗГНМФБА по ТУ 1308-001-49967239-98. Предел прочности стали $\sigma_e = 1000...1150 \text{ Н/мм}^2$, твердость $HB \geq 341$. Диапазон параметров качества поверхностей: квалитетов точности от 10 до 13; шероховатости поверхностей от $Ra 2,5$ до $Ra 12,5$ мкм. Масса готовой детали $9,1 \pm 0,55$ кг. Требуемые показатели внутреннего объема: от 17400 до 17550 см^3 . Технология предусматривает следующие операции технологического процесса: отрезка, подрезка торцов, точение и растачивание фасок, обжим для образования технологической ступени и предварительную токарную обработку перед термообработкой (закалкой с отпуском), после чего выполняется ряд токарных операций до и после ротационной вытяжки с необходимыми контрольными операциями. Проанализировав технологию изготовления трубы двигателя и учитывая проводимые ранее исследования в области ротационной вытяжки, сделано предположение, что значительное влияние на точностные характеристики изделия оказывает внутренний базовый диаметр. Отношение допуска на диаметр отверстия к полю его рассеяния должно составлять 1,786, что гарантированно больше требуемого по критериям технологической надежности значения 1,2; полученного А.А. Маталиным.

Повышение размерной точности труб двигателя можно достичь уменьшением технологического допуска на внутренний базовый диаметр заготовки под ротационную вытяжку. Проведенные экспериментальные исследования показали уменьшение разброса показаний внутреннего базового диаметра с 0,15 до 0,1 мм.

В третьей главе представлены исследования влияния технологического наследования на точность размеров трубы двигателя после ротационной вытяжки. Для статистического анализа обработана партия из 96 заготовок и измерены фактические отклонения диаметра базового отверстия от номинального значения до и после ротационной вытяжки. В результате установлено, что рассматриваемые размеры подчиняются нормальному закону распределения. Проведенные исследования позволили установить, что между внутренним базовым диаметром заготовки до (величина X) и после ротационной вытяжки (величина Y) существует корреляционная связь, свидетельствующая о влиянии одной величины на другую. Сравнение величин коэффициента корреляции и корреляционного отношения показало, что форма связи между внутренним диаметром заготовки до и после ротационной вытяжки выражена линейным уравнением регрессии: $\tilde{y}_x = 0,48x + 60,37$, где: \tilde{y}_x – статистически ожидаемое значение диаметра базового отверстия заготовки после вытяжки в зависимости от текущего значения x – диаметра базового отверстия заготовки до вытяжки. Графическая интерпретация результатов эксперимента в программах MS Excel (рис. 2) и STATISTICA отражает правильность сделанных расчетов.

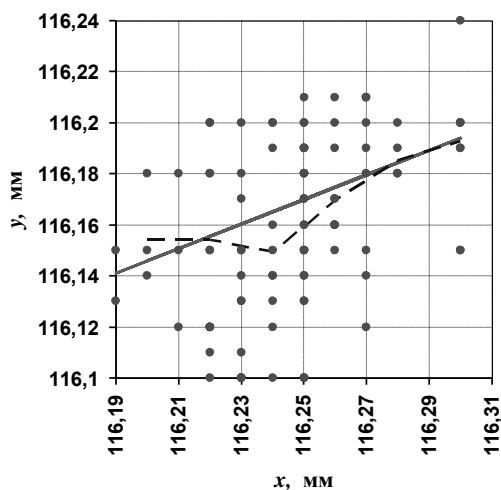


Рис. 2 Графическое представление результатов эксперимента

Исследование точности массы трубы двигателя показало наличие корреляционной зависимости ее от внутреннего объема трубы двигателя, который зависит от разброса показаний толщины стенки и внутреннего базового диаметра. На измерительном стенде, предназначенном для измерения внутреннего объема труб двигателя в цеховых условиях методом сравнения с объемом эталонной трубы двигателя, произведены замеры опытной партии изделий. Результаты показали значительный разброс значений объема труб двигателя от 17400 до 17536 см³. Уравнение регрессии $y_x = 4,582 + 1,193x$ отражает наличие корреляционной зависимости массы снаряженного топливом корпуса от внутреннего его объема. При этом коэффициент корреляции Пирсона составляет 0,996. На рис. 3 показано графическое представление уравнения регрессии.



Рис. 3 Графическое представление уравнения регрессии объема корпуса от его массы

В результате экспериментальных исследований установлено, что при повышении точности внутреннего базового диаметра: точность массы повышается на 40 %, точность внутреннего объема трубы двигателя повышается на 40,2 %.

В четвертой главе представлены исследования влияния технологии изготовления труб двигателя на биение базовых торцов. При изготовлении трубы двигателя контролируются радиальное и торцовое биение. Для проверки этих биений применяется контрольный стенд (рис. 4).

Проверяемая труба двигателя устанавливается на четыре призмы 1, которые выполнены в виде шариковых радиальных однорядных подшипников марки 6-204 А. Для фиксации изделия в осевом направлении, его отверстие закрывают заглушкой 5, касающейся упора 6. О радиальном и торцевых биениях поверхностей 2 и 4 судят по колебанию стрелки индикаторов часового типа 3 (ГОСТ 577-68).

Проведено исследование влияния овальности базовых поверхностей трубы двигателя на погрешности измерения радиального биения в призмах. На контрольном стенде (см. рис. 4) получены экспериментальные данные замеров трубы двигателя. Для определения угла поворота построена математическая модель сечения (рис. 5,а).

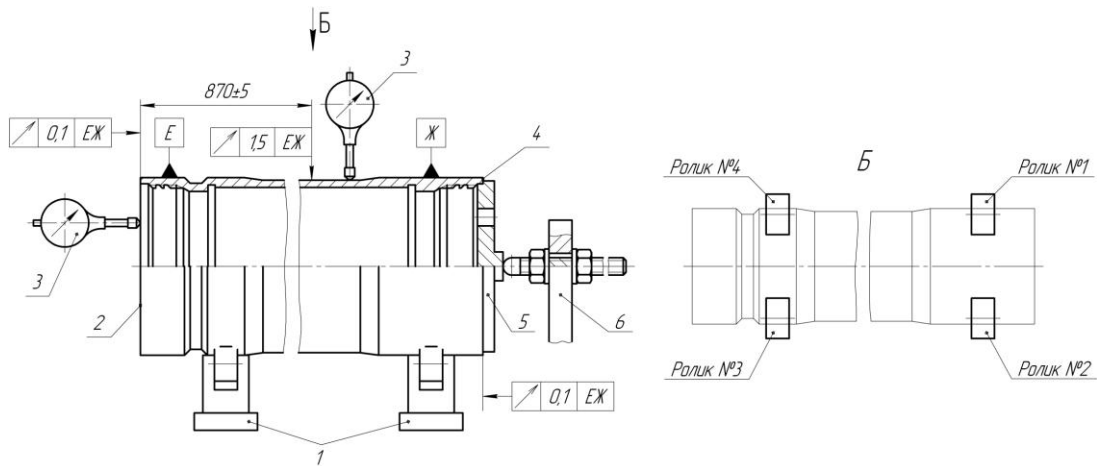


Рис. 4 Схема контроля биения трубы двигателя

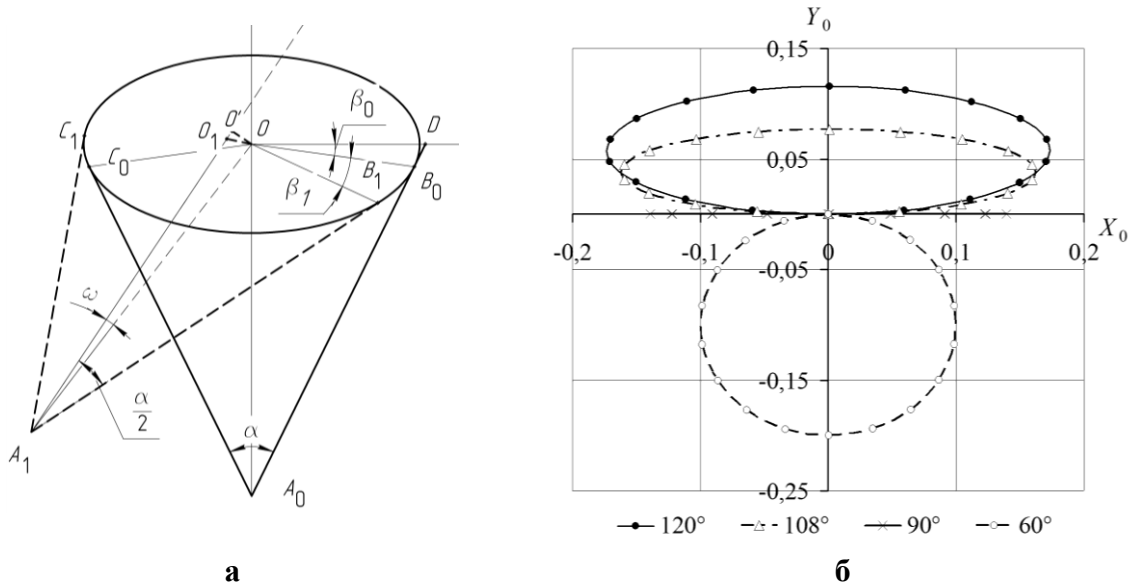


Рис. 5 Результаты исследования: а – расчетная схема для определения положения центра эллипса; б – траектории перемещения центра эллиптической поверхности

Результатом моделирования является зависимость координат центра от произвольного угла поворота заготовки в призме. Для геометрического расчета необходимо задать угол выреза призмы α . Решением системы уравнений установлена зависимость, позволяющая определить величину начального угла β_0 :

$$\beta_0 = \arcsin\left(b \cdot \operatorname{tg} 0,5\alpha / \sqrt{a^2 + b^2 \cdot \operatorname{tg}^2 0,5\alpha}\right)$$
. На основе расчетных формул проведено

математическое моделирование поведения центра заготовки при произвольном угле поворота в призме, результаты которого для различных значений α представлены на траекториях перемещения центра эллиптической поверхности при повороте в призмах с различными углами выреза (рис. 5,б).

В результате сделан вывод о том, что стандартный угол поперечных призм ($\alpha=90^\circ$) исключает влияние овалности поперечного сечения базовой цилиндрической поверхности на точность измерения радиального биения в плоскости симметрии призм.

Основываясь на проведенных исследованиях, показавших влияние схемы базирования и закрепления на точность относительного положения окончательно обработанных базовых поверхностей трубы двигателя, рекомендовано

изменение схемы обработки базовых центрирующих утолщений и торцов путем совместной обработки на разжимной оправке при базировании по обработанным внутренним поверхностям (рис. 6,а). При апробации данной схемы обработки торцовое биение уменьшается на 43 %.

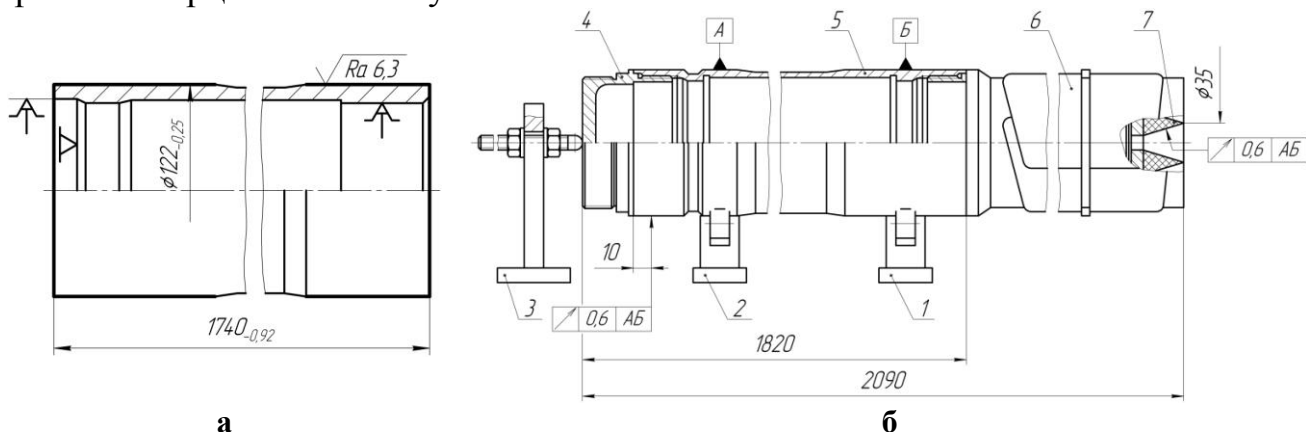


Рис. 6: а) операционный эскиз и схема базирования на операции чистового точения центрирующих утолщений, совмещенного с подрезкой торцов; б) схема контроля биения собранного узла

В пятой главе содержатся сведения о влиянии погрешностей изготовления трубы двигателя на погрешности сборки узла. На рис. 6,б показана схема контроля биения собранного узла, где заданы радиальное биение трубы двигателя и биение центрального отверстия соплового блока. В узел включены: 4 – переходное дно; 5 – труба двигателя; 6 – переходная секция; 7 – сопловой блок. Узел центрирующими утолщениями А и Б устанавливается на роликовые призмы 1 и 2, доводится до осевого упора 3. После проверки параметров биений собранного узла получены графики распределения кривых (рис. 7 и рис. 8). Сходимость практического и теоретического распределения биений подтверждена с помощью критерия Пирсона. Радиальное биение трубы двигателя в собранном узле – подчиняется показательному закону распределения, а биение соплового блока – закону Рэлея.

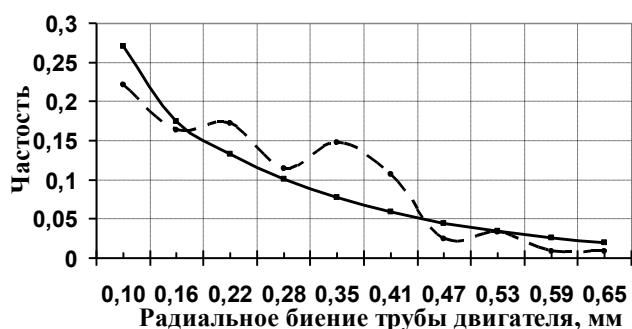


Рис. 7 Кривые распределения радиального биения трубы двигателя

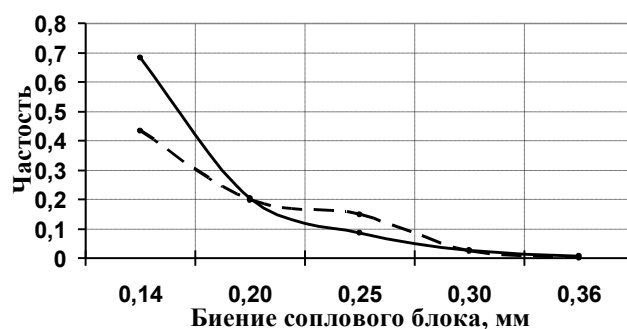


Рис. 8 Кривые распределения биения соплового блока в собранном узле

Корреляционный и регрессионный анализ влияния погрешностей изготовления трубы двигателя на выходные параметры сборки изделия показал, что наиболее сильное влияние оказывает торцовое биение трубы двигателя.

Для определения влияния этого параметра проведен линейный многофакторный регрессионный анализ. Найдены численные значения коэффициентов a_i ($i = \overline{1, l}$) в уравнении линейной множественной регрессии вида:

$\tilde{X}_0 = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_ix_i$, где: a_0 – свободный член; \tilde{x}_0 – зависимая выходная случайная переменная; x_i – независимая входная случайная переменная; i – число независимых переменных. Полученное уравнение линейной множественной регрессии представлено в таблице.

Таблица Уравнение линейной множественной регрессии

Уравнение множественной линейной регрессии	Коэф. множественной корреляции
$\Delta R = 0,035 + 2,268\Delta_{T_{k2}} + 1,387\Delta_{T_{k1}} +$ $+ 0,549\Delta_{P_{k1}} + 0,458\Delta_{\partial_3} + 0,329\Delta_{P_2} + 0,0663\Pi_{\max} \text{ (мм)}$	0,755

Установлено, что на радиальное биение сборки ΔR значительное влияние оказывает биение торцов трубы двигателя ($\delta_{\Delta_{T_{k2}}} = 62,8\%$; $\delta_{\Delta_{T_{k1}}} = 15,8\%$). Использование при сборке труб двигателя, обработанных по предлагаемой выше схеме, уменьшает биение отверстия соплового блока на 26,5 %.

В шестой главе представлено обоснование рекомендаций по совершенствованию технологического процесса изготовления труб и сборки двигателя. Математическим моделированием в среде SOLID WORKS¹ (рис. 9) получены значения упругих деформаций при максимальной расчетной силе зажима заготовки. Моделирование показало, что при расчетных условиях упругие деформации имеют трехгранную форму и составляют от 0,0333 до 0,0485 мм.

Для определения упругих деформаций на станке поставлен специальный эксперимент. Заготовку установили в патрон и предварительно сцентрировали. На станине станка установили индикатор, наконечник которого прикасался к внутренней поверхности заготовки.

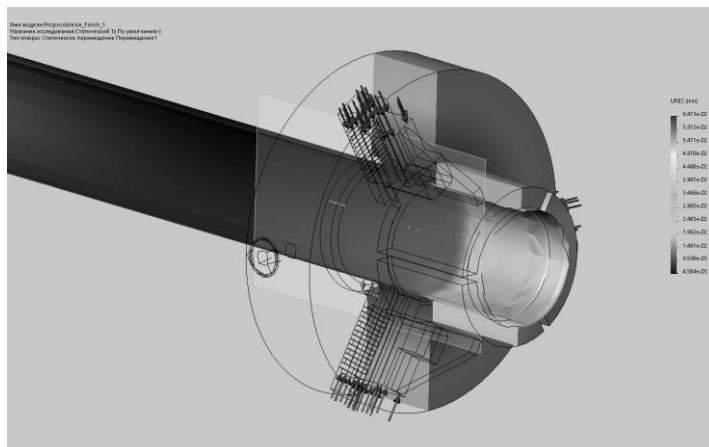


Рис. 9 Результат моделирования упругих перемещений в SOLID WORKS

Поворачивая шпиндель с заготовкой, фиксировали отклонения стрелки индикатора, по которым судили о погрешностях положения точек реальной поверхности относительно оси шпинделя. Обработка полученных данных методом наименьших квадратов с помощью математического пакета MathCAD позволила рассчитать радиус и координаты центра присоединенной окружности.

¹ Моделирование проводилось совместно с канд. техн. наук Чуприковым А.О.

Затем заготовку зажимали, и измерения повторяли (рис. 10). Выявлено влияние разностенности, проявившееся в смещении центра присоединенной окружности относительно центра шпинделя, причем в зажатом состоянии диаметр заготовки уменьшается в среднем на 0,05 мм, а центр присоединенной окружности дополнительно смещался примерно на 0,04 мм.

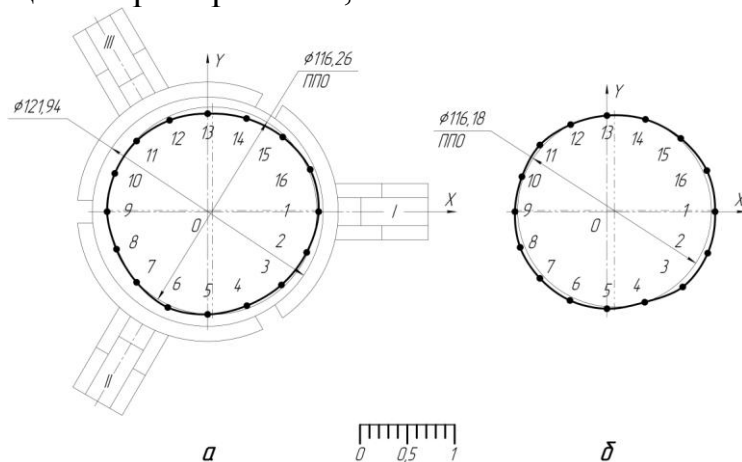


Рис. 10 Результаты расчета параметров присоединенной окружности: профили поперечного сечения трубы двигателя при установке в трехкулачковом патроне с фактическим диаметром расточки кулачков 122,05 мм, наружным диаметром трубы 121,9 мм: а – до приложения нагрузки в свободном состоянии;

б – в закрепленном состоянии; где 1 – 16 точки замеров отклонения от круглоты

В результате исследований предложено введение в технологический процесс изготовления трубы динамометрического ключа для закрепления заготовки в трехкулачковом патроне на токарном полуавтомате ТМ-39М с целью равномерного закрепления и уменьшения влияния упругих деформаций. Внедрено изменение регламента технического обслуживания технологической оснастки, в частности, более частое притачивание кулачков, что сказалось на увеличении точности окончательной внутренней обработки трубы двигателя.

Для нормального функционирования РСЗО необходимо обеспечение входимости снаряда в трубу пусковой установки. Свободная входимость определяется зазором между прилегающими цилиндрами снаряда и пусковой установки. Разработан способ непосредственного контроля входимости снаряда в пусковую трубу (рис. 11). Общепринятый способ косвенной проверки вхождения снаряда в пусковую трубу измерением радиального биения среднего центрирующего утолщения корпуса при наличии существенных погрешностей может привести к ложному бракованию годных сборок или пропуску негодных. Предлагаемый способ непосредственного контроля размера вхождения прилегающего профиля корпуса реактивного снаряда в пусковую трубу устраняет указанные недостатки и позволяет повысить производительность контроля в 2,5 раза.

Введение в технологический процесс сборки двигателя предлагаемого способа контроля диаметра прилегающего цилиндра корпуса позволит гарантировать вхождение реактивного снаряда в пусковую трубу.

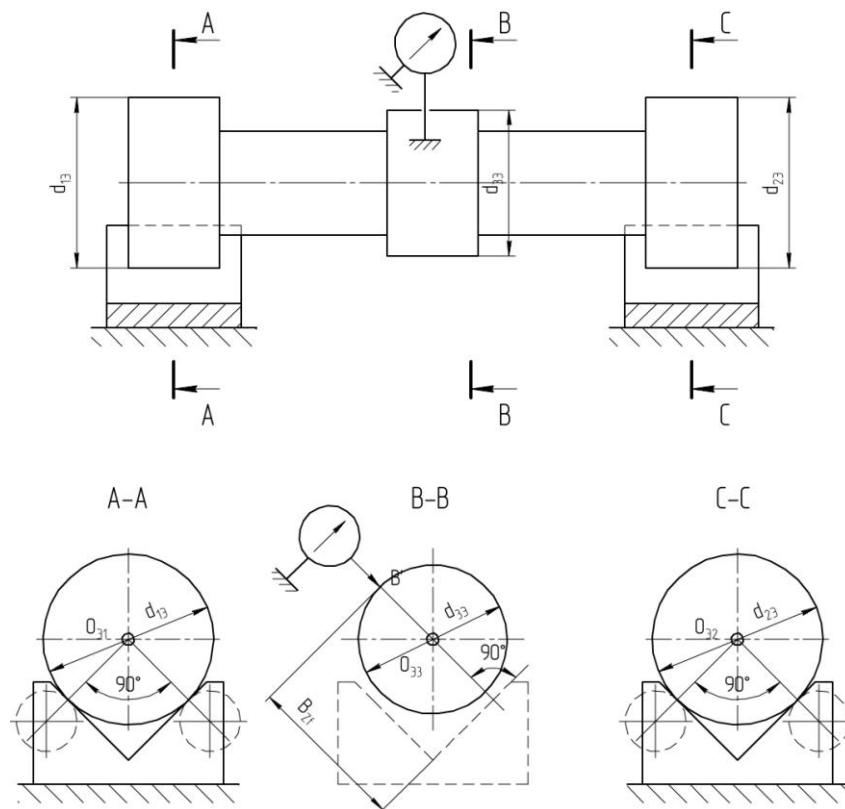


Рис. 11 Схема контроля размера вхождения прилегающего профиля корпуса

На основании проведенных исследований составлен перечень рекомендаций по совершенствованию технологического процесса. Апробация разработанных предложений подтверждается техническим актом внедрения и актом практического применения научной работы на предприятии АО «НПО «СПЛАВ» и отражает существенное повышение качественных показателей труб двигателя.

Основные выводы и результаты

В диссертационной работе обоснованы новые технологические решения, обеспечивающие повышение точности изготовления и сборки труб двигателя при комбинировании обработки давлением и резанием.

По результатам выполнения работы сделаны выводы:

1. При изготовлении труб двигателя с использованием штампованной заготовки от 20 до 30 % изделий не соответствуют требованиям по точности, что объясняется проявлением анизотропии механических свойств исходной заготовки.

2. Технологический процесс изготовления трубы двигателя с использованием в качестве исходной заготовки горячекатаной трубы и её дальнейшего формообразования обработкой резанием и ротационной вытяжкой лишен влияния анизотропии, что снижает погрешности трубы в поперечном сечении в 2 ... 3 раза.

3. Проведенные исследования в действующем технологическом процессе показали, что на точность изделий оказывает влияние внутренний базовый диаметр. При этом прослеживаются наследственные связи, возникающие на начальных операциях и отражающиеся на точностных параметрах последующих операций технологического процесса. В результате экспериментальных иссле-

дований установлено, что при повышении точности внутреннего базового диаметра точность массы повышается на 40 %, точность внутреннего объема трубы двигателя повышается на 40,2 %.

4. Исследование операции растачивания базового отверстия трубы показало, что отношение допуска на диаметр отверстия к полю его рассеяния составляет 1,786, что гарантированно больше требуемого по критериям технологической надежности значения 1,2; полученного А.А. Маталиным. Использование этого резерва позволяет повысить точность изготовления трубы на всех операциях технологического процесса.

5. Результаты корреляционного и регрессионного анализа влияния погрешностей изготовления трубы двигателя доказали преобладающее влияние торцового биения на выходные параметры сборки. Для снижения этого влияния обоснована рациональная схема базирования заготовки трубы двигателя при окончательной обработке торцов на токарном станке. При апробации данной схемы обработки точность торцового биения повышается на 43 %. Использование при сборке труб двигателя, обработанных по предлагаемой схеме, снижает биение отверстия соплового блока РС на 26,5 %.

6. Исследование влияния овальности базовых поверхностей заготовки на погрешности измерения радиального биения в призмах с различным углом показало, что при угле $\alpha=90^\circ$ колебание положения оси заготовки вдоль плоскости биссектрисы призмы стремится к нулю. Полученные результаты дают основание рекомендовать использование данных призм в технологическом процессе изготовления трубы двигателя.

7. Компьютерное моделирование в среде SolidWorks и экспериментальное определение упругих деформаций заготовки при закреплении в трехкулачковом патроне с охватывающими кулачками показали, что диаметр заготовки уменьшается в среднем на 0,05 мм, поэтому обеспечить совпадение диаметров базовой поверхности трубы и расточенной поверхности кулачков практически невозможно также как и вызываемые этим несовпадением погрешности формы.

8. Предложенный способ непосредственного контроля размера вхождения прилегающего профиля сборного корпуса реактивного снаряда в пусковую трубу устраняет недостатки общепринятого способа косвенной проверки параметра вхождения и позволяет повысить производительность контроля в 2,5 раза. Введение в технологический процесс сборки двигателя предлагаемого способа контроля диаметра прилегающего цилиндра корпуса гарантирует вхождение реактивного снаряда в пусковую трубу.

9. Экспериментальные исследования произведены в производственных условиях на АО «НПО «СПЛАВ». Технологические рекомендации, разработанные на основании исследований, внедрены на данном предприятии. Технический эффект использования результатов исследований и разработанных рекомендаций отражает существенное повышение качественных показателей труб двигателя. Апробация разработанных предложений при проведении испытаний дальнобойных реактивных снарядов РСЗО «Град» подтвердили повышение качественных показателей труб двигателя, что дало основание рекомендовать разработанные технические решения для внедрения в производство.

10. При опытно-промышленном внедрении результатов диссертационной работы снижена трудоемкость окончательной механической обработки трубы двигателя на 1,3 %. При этом ожидаемый экономический эффект составит 100 тыс. рублей в год.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в журналах из перечня ВАК РФ

1. **Матвеев И.А.**, Киселев А.В., Ямников А.С. Компенсация влияния технологической наследственности при токарной обработке искривленных заготовок // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. №9: в 2 ч. Ч. 2, 2014. С. 193 – 200.

2. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С. Статистический анализ точности механической обработки протяженных деталей из штампованной заготовки типа «станкан» // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. №5: в 2 ч. Ч. 2, 2015. С. 126 – 136.

3. **Матвеев И.А.**, Киселев А.В., Ямников А.С. Влияние углового положения овальной заготовки на точность центрирования в патроне // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. №5: в 2 ч. Ч. 2, 2015. С. 113 – 120.

4. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С., Ямникова О.А. Статистический анализ точности предварительной токарной обработки трубной заготовки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. №11: в 2 ч. Ч. 1, 2015. С. 111 – 120.

5. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С. Точность операции растачивания протяженных осесимметричных корпусов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. №8: в 2 ч. Ч. 2, 2016. С. 9 – 15.

6. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С., Ямникова О.А. Корреляционная связь размеров базового отверстия протяженных деталей до и после ротационной вытяжки // Справочник. Инженерный журнал. №7, 2017. С. 3 – 7.

7. **Матвеев И.А.** Прогнозирование точностных параметров сложных изделий в программной среде STATISTICA // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. №8, 2017. С. 233 – 239.

8. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С., Ямникова О.А., Родионова Е.Н. Влияние погрешностей положения стыковых поверхностей сборного осесимметричного корпуса на погрешность положения исполнительных поверхностей // Вестник Брянского государственного технического университета. №7, 2017. С. 13 – 17.

9. **Матвеев И.А.**, Трегубов В.И., Ямников А.С. Технологическое обеспечение заданных конструктивных параметров деталей двигателя РСЗО «Торнадо-Г» // Известия РАН. №4, 2017. С. 94 – 98.

10. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С., Ямникова О.А. Влияние технологии изготовления секций полых осесимметричных корпусов на биение базовых торцов // Технология машиностроения. №12, 2017. С. 37 – 41.

11. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С., Ямникова О.А. Влияние погрешностей базовой детали на погрешности сборки протяженных осесимметричных корпусов // Сборка в машиностроении, приборостроении. №2, 2018. С. 59 – 63.

12. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С., Ямникова О.А. Влияние вида исходной заготовки на точность изготовления протяженных осесимметричных корпусов // Вестник машиностроения. №3, 2018. С. 45 – 49.

13. **Матвеев И.А.** Анализ влияния термической обработки на точностные

параметры тонкостенных оболочек // Известия ТулГУ. Технические науки. №1, 2018. С. 45 – 51.

14. **Матвеев И.А.**, Родионова Е.Н. Исследование точности токарной обработки сложнопрофильных поверхностей корпуса блока системы управления // Известия ТулГУ. Технические науки. №4, 2018. С. 214 – 218.

15. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С. Исследование параметров точности тонкостенных протяженных осесимметричных деталей при комбинировании обработки резанием и давлением // СТИН. №3, 2018. С. 20 – 21.

16. **Матвеев И.А.**, Ямникова О.А., Ямников А.С. Влияние овальности базовых поверхностей тонкостенных протяженных осесимметричных полых деталей на погрешности измерения радиального биения в призмах // Измерительная техника. №3, 2018. С. 32 – 36.

17. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С., Ямникова О.А., Родионова Е.Н. Способ непосредственного контроля годности сборного протяженного цилиндрического корпуса реактивного снаряда // Измерительная техника. №9, 2018. С. 31 – 35.
Публикации в журналах, входящих в международную систему цитирования

Scopus

18. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С., Борискин О.И., Ямникова О.А. Технологическое наследование свойств исходной заготовки в параметрах точности протяженных осесимметричных деталей // Черные металлы. №12, 2017. С. 50 – 56.

19. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С., Ямникова О.А., Чуприков А.О. Упругие деформации заготовок полых осесимметричных корпусов при закреплении в трехкулачковых патронах // Черные металлы. №6, 2018. С. 25 – 30.

Публикации в других изданиях

20. **Матвеев И.А.**, Ямников А.С., Чуприков А.О. Обеспечение точности изготовления тонкостенных осесимметричных корпусов сложного профиля: **монография**. Тула. Изд-во ТулГУ. 2017. 208 с. ISBN 9785-7679-3838-4.

Патенты, заявки

1. Заявка на патент 2017140572 РФ, МПК⁸ G01B 5/00, F41F 1/00. Способ контроля диаметра прилегающего цилиндра сборного ступенчатого корпуса. / Ямников А.С., Ямникова О.А., **Матвеев И.А.**, Родионова Е.Н.; заявитель ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»;

2. Заявка на патент 2017140573 РФ, МПК⁸ B23 B25/06, G01 L1/04, G01 M5/00. Способ определения динамических характеристик металлорежущих станков. / Федин Е.И., Ямников А.С., **Матвеев И.А.**, Родионова Е.Н.; заявитель ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».