

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный  
университет»

На правах рукописи

Тимошинин Максим Андреевич

**Исследование и разработка технологий изготовления  
элементов труб**

Направление подготовки  
15.04.01– «Машиностроение»

АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2018



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре  
государственный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук,  
доцент, Марьин Сергей  
Борисович

Рецензент Череповский Павел  
Викторович

Защита состоится «28» июня 2018 г. в 9 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 221/2.

Автореферат разослан «15» июня 2018 г.

Секретарь ГЭК

А.В.Свиридов

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы исследования:** Создание новых летательных аппаратов требует постоянного совершенствования технологических процессов, обеспечивающих постоянно растущие требования по качеству и эксплуатационной надежности изделия.

Технологии изготовления деталей и узлов во многом определяют ресурс изделия, его трудоемкость и себестоимость, стабильность и культуру производства. При этом актуальной проблемой заготовительно-штамповочного производства является изготовление высокоресурных, надёжных трубопроводов.

Трубопроводы работают в условиях сложного нагружения. Они испытывают действия высоких давлений, пульсирующей нагрузки и гидравлических ударов, поэтому к ним предъявляются высокие требования по механическим свойствам материала, качеству внешней и внутренней поверхностей, сохранению формы сечения, минимальных утонений стенок.

Наибольшее число разрушений трубопроводов связано с утонением их стенок в местах изгиба и перехода от одного диаметра к другому. Значительно снижают работоспособность такие факторы, как чрезмерная эллипсность и волнистость стенок – явления, сопровождающие процессы изготовления трубопроводов.

К элементам трубопроводных систем относятся патрубки, фитинги, тройники, переходники и др., почти все они производятся с помощью операций гибки, формовки, раздачи, обжима и др. из трубных заготовок. При этом в качестве рабочего инструмента

(пуансона), деформирующего трубу, могут быть использованы жёсткие штампы или различные типы сред (жидкостные, газообразные, эластичные и сыпучие).

В настоящее время существенным образом меняются не только конфигурации трубопроводных систем, но и наблюдается устойчивая тенденция в применении всё более стойких и прочных материалов – титановых сплавов и высоколегированных сталей, которые обладают высокими характеристиками удельной и усталостной прочности, высокой коррозионной стойкостью, что делает их незаменимым материалом в трубопроводах находящихся под высоким давлением, различных типов жидкостей или газов.

**Цель диссертации** - разработка ресурсосберегающих технологий для изготовления элементов труб применяемых в летательных аппаратах.

В ходе работы были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Проведён конструкторско-технологический анализ способов раздачи трубных заготовок;
2. Исследован кинематический процесс поведения различных сред при раздаче трубы;
3. Разработана ресурсосберегающая технология раздачи трубных заготовок с использованием эффективных рабочих тел.

**Объект** исследования: детали трубопроводных систем летательных аппаратов.

**Предмет** исследования: способы и методы расчета процессов изготовления деталей трубопроводных систем летательных аппаратов.

**Научная новизна** исследования состоит в том, что:

-предложен способ раздача трубных заготовок из термически упрочняемых алюминиевых сплавов;

-проведено исследование раздачи трубных заготовок с использованием экономически выгодного и эффективного наполнителя;

-проведено исследование влияния наполнителя на равномерную раздачу заготовок и воздействие на качество внутренней поверхности заготовки.

**Достоверность и обоснованность результатов исследований** подтверждена положительными проведением экспериментальных исследований.

**Практическая значимость и ценность работы.** Разработка практических мероприятий и рекомендаций, направленных на изготовление деталей из труб различной формы из алюминиевых и титановых сплавов, а также коррозионностойких сталей. Эти разработки охватывают вопросы анализа номенклатуры деталей труб, выбор деталей, расчёт и проектирование технологических процессов, оснастки, приспособлений, проектирования и механизации участков изготовления деталей. Рассмотрены практически все операции раздачи деталей из трубчатых заготовок с использованием рабочего

тела из эффективного наполнителя в опытном и серийном производствах.

**Личный вклад** Предложены новые эффективные наполнители для раздачи труб. При личном и непосредственном участии автора исследованы различные наполнители рабочего тела для раздачи труб и возможность их использования в промышленности.

**Апробация результатов исследования:** основные результаты работы докладывались на 46-й научной конференции студентов и аспирантов ФГБОУ ВО "КнАГТУ".

**Публикации:** основное содержание работ диссертации отражено в патенте РФ на изобретение.

**Объем и структура диссертации:** диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников, включающего 58 наименований, и одного приложения.

### **Содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, объект и предмет, сформулированы цели и задачи работы, используемые методы исследования, показана научная новизна. Приводится список публикаций и сведения об апробации работы.

**Глава 1** содержит литературный обзор по теме диссертации. В данной главе рассмотрены способы раздачи трубных заготовок,

основные технологические параметры раздачи, устройства для раздачи, рабочее тело и его состав (эластичные, твердые газообразные, сыпучие наполнители).

Конструктивно-технологический анализ (рис. 1) показал, что элементы трубопроводов выполнены в виде тройников, законцовок, крутоизогнутых патрубков, муфт, переходников, фитингов, фланцев диаметрами от 6 до 100 мм, радиусом изгиба равным 0,5 диаметра патрубка, соотношением одного диаметра к другому до 2 раз. Кроме того, необходимо добавить, что изготовление представленных деталей производится из трубных заготовок, толщиной стенки от 0,5 до 2,5 мм.

Значительный вклад в современную технологию авиаракетостроения, а также в разработку теории процессов деформирования ТЗ и методов их интенсификации внесли работы Абдулаева Ф. С., Барвинка В. А., Богоявленского К. Н., Братухина А. Г., Вагина В. А., Генина Е. В., Глазкова В. И., Горбунова М. Н., Давыдова О. Ю., Дмитриева А. М., Егорова В. Г., Ершова В. И., Исаченкова Е. И., Кирилина А. Н., Кобышева А. Н., Комарова А. Д., Костышева В. А., Лукьянова В. П., Масленникова Н. А., Моисеева В. К., Новожилова Г. В., Попова Е. А., Попова О. В., Рузанова Ф. И. и др.

Результаты этих работ позволили создать новые эффективные технологические процессы изготовления трубчатых

деталей, в том числе деталей гидрогазовых систем летательных аппаратов и судовых трубопроводов.

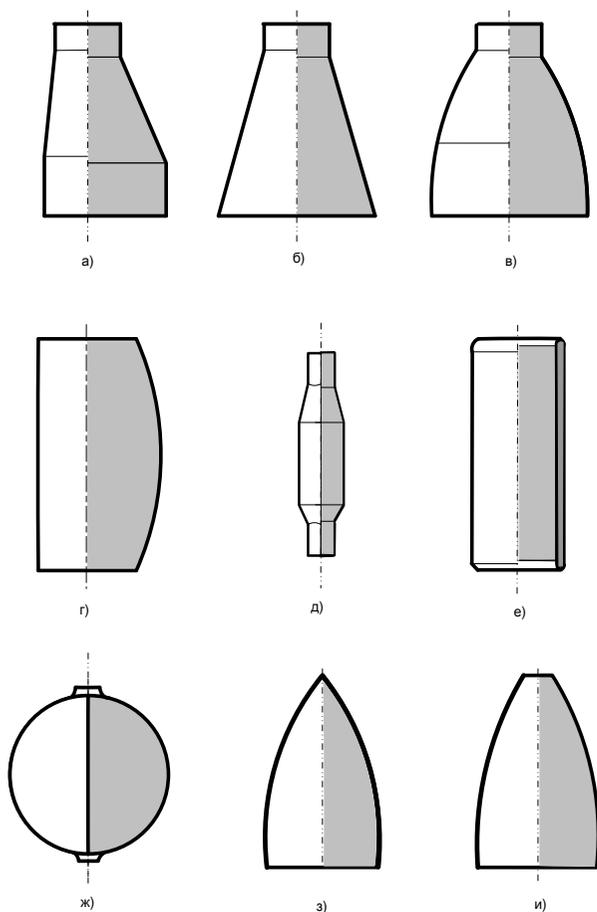


Рисунок 1. Типовые детали, получаемые обжимом и раздачей ТЗ:

*a, б, в* – переходники; *г* – корпус; *д* – тяга управления;

*е* – емкость; *ж* – шар-баллон; *з, и* – обтекатели

**Глава 2** на основе численного метода решения дифференциальных уравнений упруго-пластических деформаций, предложенного В.И. Одиноквым, построена уточненная математическая модель процесса раздачи концов труб.

Изобретение относится к обработке металлов давлением, в частности к раздаче трубчатых заготовок из термически упрочняемых алюминиевых сплавов. Устройство содержит матрицу, наружную обойму, пуансон и рабочее тело из ледяного стержня. Трубчатую заготовку, нагретую до температуры под закалку, устанавливают в матрицу с зазором, обеспечивающим равномерное охлаждение наружной поверхности трубчатой заготовки. При этом используют ледяной стержень с наружным диаметром, равным внутреннему диаметру матрицы, выполненный с возможностью установки на трубчатую заготовку и таяния его наружной части при комнатной температуре при контакте с нагретой трубчатой заготовкой и сползания внутрь нее для раздачи. Изобретение расширяет технологические возможности.

На рис. 2 представлена схема процесса калибровки раздачей ТЗ. На пуансон 1 с помощью упорного кольца 2 наталкивается цилиндрическая ТЗ 3 со скоростью  $v^*$ . Рассматривается осесимметричный процесс деформации.

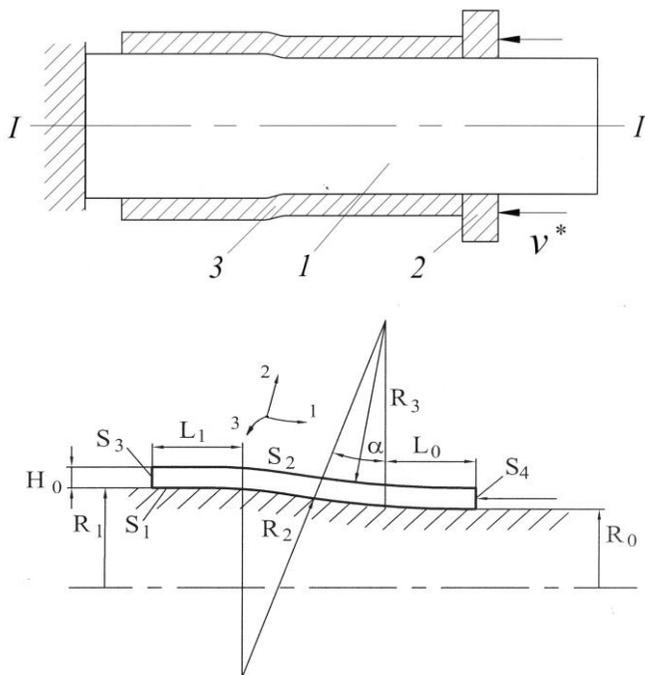


Рисунок 2 — Схема калибровки раздачей трубной заготовки по жесткому

пуансону: 1 - пуансон; 2 - упорное кольцо; 3 - трубчатая заготовка

На точность диаметра калиброванного участка будет оказывать влияние форма и размер пуансона, марка материала ТЗ, наличие трения между ТЗ и пуансоном, температура в очаге деформации, толщина стенки и диаметр ТЗ, скорость деформирования. Математическая модель должна ответить на вопрос о возможности получения точных размеров калиброванного участка в процессе калибровки раздачей ТЗ при заданных

технологических параметров процесса с учетом упругой разгрузки.

Примем пуансон абсолютно жестким телом. Рассмотрим деформацию только трубной заготовки.

Будут наблюдаться два процесса. Первый - процесс раздачи, когда под действием упорного кольца происходит наталкивание свободного конца трубной заготовки на жесткий пуансон. Второй – уменьшение диаметра ТЗ после снятия с пуансона за счет упругой разгрузки.

Полагаем, что рассматриваемая область находится в упруго-пластическом состоянии. Деформируемый материал принимается изотропным и несжимаемым. Течение металла считается медленным (пренебрегаем инерционными силами). Массовыми силами также пренебрегаем.

В Эйлеровой системе координат с учетом осесимметричности рассматриваемый процесс опишем следующей системой уравнений:

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_3} = 0; \quad \frac{\partial \sigma_{3i}}{\partial x_3} = 0; \quad i = 1, 2, 3;$$

Упругая зона:

$$\sigma_{ij,j} = 0; \quad \sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij} = 2G \xi_{ij}; \quad \xi_{ij} = 0,5(v_{i,j} + v_{j,i})$$

(1)

Пластическая зона:

$$\sigma_{ij,j} = 0; \quad \sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij} = 2\lambda \xi_{ij}; \quad \xi_{ij} = 0,5(v_{i,j} + v_{j,i})$$

(2)

$$\xi_{ii} = 0; \dot{\theta} = \alpha \Delta \theta + F / c \rho; \lambda = T / H; H = 2(\xi_{ij} \xi_{ij})^{1/2}; T = T(\varepsilon, \xi^*, \theta),$$

где  $\sigma_{ij}$  - напряжения;  $\xi_{ij}$  - компоненты тензора скоростей деформаций,  $v_i$  - компоненты скорости перемещений,  $\delta_{ij}$  - символ Кронекера,  $\theta$  - температура,  $\varepsilon$  - степень деформации,  $\xi^*$  - скорость деформации,  $\xi^* = H / \sqrt{3}$ ,  $\sigma = (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}) / 3$  - гидростатическое давление,  $G$  - модуль сдвига. Функция  $T = T(\varepsilon, \xi^*, \theta)$  - определяется из экспериментальных исследований на одноосное растяжение, сжатие.

Определение области расположения упругой и пластической зон производится следующим образом:

если  $\varepsilon \geq 0,002$  - пластическая зона;

если  $\varepsilon < 0,002$  - упругая зона.

Граничные условия задачи:

$$\begin{aligned} V_1 \Big|_{S_4} &= V^*, & V_2 \Big|_{S_1} &= 0, & \sigma_{22} \Big|_{S_2} &= 0, \\ \sigma_{21} \Big|_{S_2} &= 0, & \sigma_{23} \Big|_{S_2} &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\sigma_{12} \Big|_{S_i} = 0, \quad i=3,4; \quad \sigma_{11} \Big|_{S_3} = 0, \quad \sigma_{13} \Big|_{S_i} = 0 \quad i=3,4.$$

На контактной поверхности  $S_j$ , примем закон трения в виде:

$$\sigma_{21} \Big|_{S_1} = -\psi \tau_S \frac{(v_{CK})_1}{|v^*|} \cos(n, x_2),$$

(4)

где  $(v_{CK})_1$ - скорость скольжения металла относительно инструмента в направлении оси  $x_1$ ;  $n$  - нормаль к поверхности контакта  $S_1$ ;  $\psi$  - коэффициент трения;  $v^*$  - заданная скорость раздачи.

После раздачи, ТЗ снимается с пуансона и под действием внутренних напряжений, полученных в процессе нагружения, упруго деформируется. Для получения уравнений, описывающих процесс разгрузки, разобьем весь процесс разгрузки на малые шаги по времени  $(\Delta \tau)$ . При  $\tau=0$   $\sigma_{ij}$  и  $\sigma$  - значения напряжений внутри деформируемой области в конце процесса нагружения. Число временных интервалов  $\Delta \tau_i$  при разгрузке определяется по наличию  $v_i$  в детали. Если при  $\tau_i = \sum \Delta \tau_i$  получаем, что скорости  $v_i=0$  ( $i=1,2,3$ ), то это означает, что внутренние напряжения являются уравновешенными и процесс разгрузки завершен. На каждом временном шаге  $\Delta \tau_i$  отыскивается конфигурация разгружаемой детали. При  $\tau=\tau_i$  имеем конфигурацию детали после разгрузки. Напряжения  $\sigma_{ij}$ , сохранившиеся внутри детали, будут остаточными.

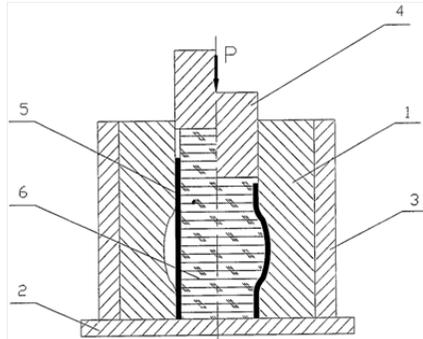
**Глава 3** содержит анализ конструкции «патрубок», характеристику материала детали, а также обзор методов раздачи труб с использованием рабочего тела в виде ледяного стержня, а также расширение технологических возможностей операций

раздачи полых и трубчатых заготовок при минимальных затратах на изготовление рабочего тела.

Сам метод осуществляется тем, что внутри заготовки размещают рабочее тело из ледяного стержня. Технически получить ледяной стержень проще, чем рабочее тело из снега.

Предлагаемый штамп (рис.3) состоит из разъемной матрицы 1, установленной в жестком корпусе, состоящим из плиты основания 2, наружной обоймы 3, пуансона 4. В матрице 1 размещена трубчатая заготовка 5, внутри которой находится рабочее тело 6, выполненное из ледяного стержня.

Штамп работает следующим образом. В подготовленную матрицу 1 вставляют трубчатую заготовку 5, внутри которой размещено рабочее тело 6, выполненное из ледяного стержня. Посредством перемещения ползуна пресса с усилием  $P$  перемещается пуансон 4. От пуансона 4 усилие  $P$  передается через рабочее тело в зону деформирования трубчатой заготовки, в результате чего происходит раздача трубы. Затем пуансон 4 поднимают вверх, производят разборку матрицы 1 и выемку готовой детали с рабочим телом 6, которое впоследствии растаивает за счет положительной температуры рабочего помещения. В результате решается поставленная задача.



1-матрица; 2-плита-основание; 3-наружная обойма;  
4-пуансон; 5-трубная заготовка; 6-рабочее тело (лед)

Рисунок3-Устройство для раздачи полых и трубчатых заготовок по жесткой матрице, с использованием рабочего тела в виде ледяного стержня

По результатам проведенного исследования была подана заявка и оформлен патент RU 2 649 102 C1 «Устройство для совмещенной закалки и раздачи нагретой до температуры под закалку трубчатой заготовки из термически упрочняемого алюминиевого сплава».

Метод относится к обработке металлов давлением, в частности к раздаче полых и трубчатых заготовок, и может быть использован в авиационной, судостроительной и смежных с ними отраслях промышленности.

Рабочее тело для передачи усилия при раздаче полых и трубчатых заготовок по жесткой матрице представляет собой ледяной стержень, расположенный во внутреннем объеме заготовки. Достигается расширение технологических возможностей

операций раздачи полых и трубчатых заготовок при минимальных затратах.

Раздача трубной заготовки осуществляется в штампе.

Предлагаемый штамп состоит из разъемной матрицы, состоящей из двух частей - верхняя часть штампа 4 рисунок, нижняя часть штампа рисунок 5.

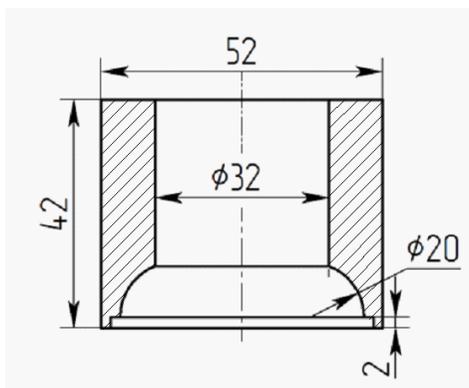


Рисунок 4-Чертеж верхней части штампа

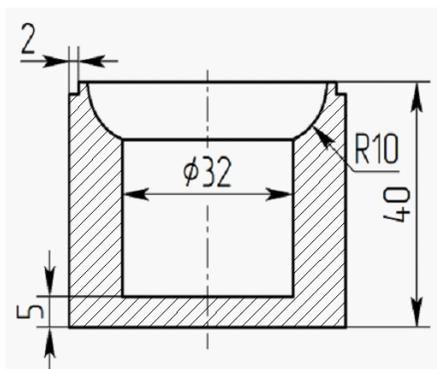
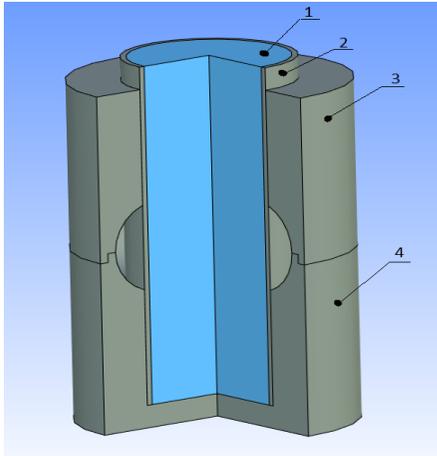


Рисунок 5-Чертеж нижней части штампа



1-рабочее тело; 2-трубная заготовка; 3-верхняя часть штампа; 4-нижняя часть штампа  
Рисунок 6-Штамп с заготовкой и рабочим телом внутри

Штамп работает следующим образом. В подготовленный штамп вставляют трубчатую заготовку, внутри которой размещают рабочее тело, выполненное из ледяного стержня. Посредством перемещения ползуна прессы с усилием  $P$  перемещается пуансон. От пуансона усилие  $P$  передается через рабочее тело в зону деформирования трубчатой заготовки, в результате чего происходит раздача трубы. Затем пуансон поднимают вверх, производят разборку штампа и выемку готовой детали с рабочим телом, которое впоследствии растаивает за счет положительной температуры рабочего помещения.

Изображение готовой детали приведено на рисунке 7.



Рисунок 7-Деталь «патрубок» после операции раздачи

В ходе проведенных исследований и лабораторных испытаний было предложено при изготовлении ледяного стержня использовать совместно воду и сыпучий материал.

Торцевой слой ледяного стержня, состоящий из замороженного льда и сыпучего материала, увеличивает трение на плоскость заготовки, препятствуя тем самым развальцовки торца заготовки. В результате решается поставленная задача.

Предложен технологический процесс раздачи и его описание:



Рисунок 8-Технологический процесс раздачи

Раздача трубных заготовок при проведении экспериментальной работы осуществлялась на гидравлическом прессе (рисунок 8).

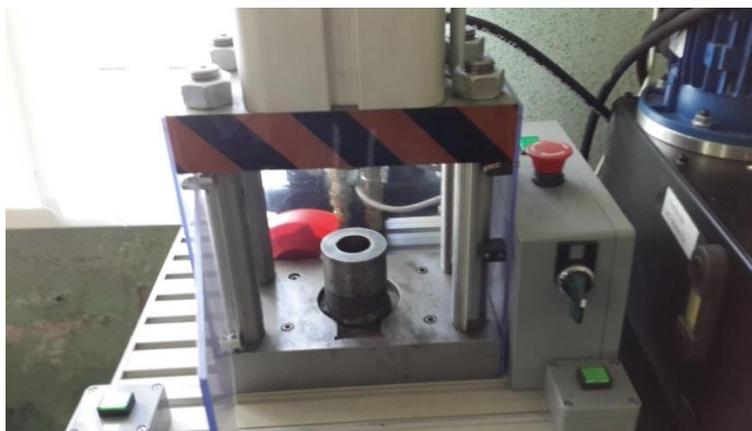


Рисунок 9- Гидравлический пресс

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования :

1. Проанализированы исследования в области формоизменений элементов труб.
2. Проведены исследования и эксперименты влияния наполнителей рабочего тела на качество раздачи трубных заготовок.
3. Рассмотрен и описан технологический процесс раздачи элементов труб с разными наполнителями.

## **Список публикаций по теме диссертационной работы:**

### ***Тезисы докладов и выступлений:***

1. Исследование технологии раздачи трубных заготовок / С.Б. Марьин, М.А. Тимошинин // Материалы 46-й научной конференции студентов и аспирантов. ФГБОУ ВО "КнАГТУ", 2016. - с. 594-596.

### ***Патенты на изобретения и полезные модели:***

2. Пат. 2649102 Российская Федерация, (51) МПК В 21 D 41/02. Устройство для совмещенной закалки и раздачи нагретой до температуры под закалку трубчатой заготовки из термически упрочняемого алюминиевого сплава / С.Б. Марьин, М.А. Тимошинин, Пхью Вей Аунг, Мин Ко Хлайнг. –№2017109781; заявл. 23.03.2017; опубл. 29.03.2018.