

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ НА КАЧЕСТВО ШТАМПОВОК, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ФОРМОВКИ В РЕЖИМЕ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ МАТЕРИАЛА

Ю.А. Сепесева, В.В. Мартишкин, И.С. Петухов

*В работе рассмотрены параметры, влияющие на качество деталей, получаемых газовой формовкой в режиме сверхпластичности материала; разработаны математическая модель и алгоритм расчета качества штамповой оснастки для определения ее готовности для газовой формовки в режиме сверхпластичности материала; определены инженерно-технические решения, способствующие снижению коэффициента дефектности выпуска полусфер из титанового сплава.*

**Ключевые слова:** технологический процесс, сверхпластичность материала, качество детали, определяющая деталь, титановый сплав.

## INFLUENCE OF DIE TOOLING PARAMETERS ON THE QUALITY OF FORGINGS PRODUCED BY GAS ASSIST MOULDING AT MATERIAL SUPERPLASTICITY

Yu. Sepeseva, V. Martishkin, I.S. Petukhov

*The parameters affecting on the quality of parts obtained by gas molding in the mode of material superplasticity are considered in the paper. The mathematical model and the algorithm for calculating the quality of die tooling for its readiness assessment for gas assist forming in the mode of material superplasticity have been developed. There have been identified technical-engineering solutions that can contribute to the defectiveness coefficient reduction at hemispheres production from titanium alloy.*

**Keywords:** technological process, the superplasticity of a material, the quality of the component that determines the detail, titanium alloy.

### Введение

Для получения крупногабаритных тонкостенных штамповок из титановых сплавов разработана технология газовой формовки, основанная на использовании свойства сверхпластичности титановых сплавов [1].

В отличие от существующих методов штамповки, к которым относят объемную горячую штамповку, штамповку взрывом и другие, технология газовой формовки позволяет получать штамповку с толщиной стенок в пределах установленного допуска без коррекции толщины стенок с помощью механической обработки.

Однако, существует проблема в производстве титановых полусфер, которая, непосредственно, связана с качеством получаемых деталей. Дефектами полусфер являются отклонение от заданных размеров, не соответствие по толщине стенок, не допустимая шероховатость и качество

поверхности. Детали, получаемые с помощью данной технологии, имеют высокую себестоимость, следовательно, решение проблем качества является необходимым и актуальным.

Вопросы качества технологии газовой формовки в режиме сверхпластичности материала недостаточно изучены и проработаны на сегодняшний день.

Цель работы заключается в определении инженерно-технических мероприятий по снижению дефектности при выпуске полусфер из титанового сплава.

### Постановка задачи

Технология газовой формовки, с помощью которой получают детали из титанового сплава BT23 (рис. 1), реализована на опытно-промышленной установке, используемой на одном из предприятий аэрокосмического комплекса.

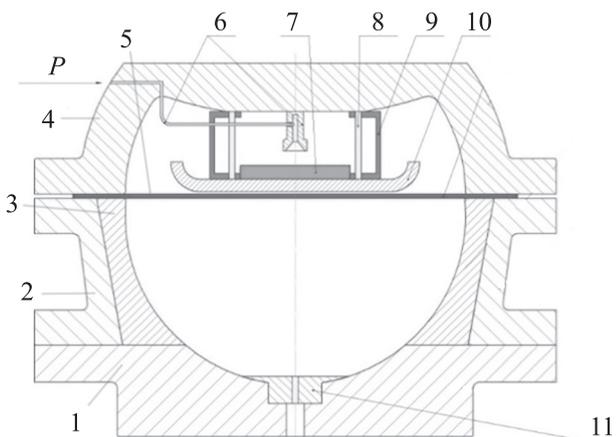


**Рис. 1. Общий вид штамповки «полусфера» [2], изготовленной методом газовой формовки в режиме сверхпластичности материала из титанового сплава VT-23**

В результате нескольких десятков циклов по формованию заготовок установлено, что на качество полусфер (см. рис. 1) непосредственно оказывает влияние штамповая оснастка, так как она находится в прямом контакте с изготавливаемой деталью.

Изготовление штампа – очень сложное и дорогостоящее мероприятие. Поэтому, важной задачей является разработка алгоритма, следуя которому, ожидаемое (вероятностное) качество штамповой оснастки на стадии конструирования будет гарантировано.

Конструкция штамповой оснастки для получения титановых штамповок в режиме сверхпластичности материала заготовок показана на рис. 2 [3].



**Рис. 2. Конструкция штамповой оснастки для получения титановых полусфер в режиме сверхпластичности материала:**

- 1 – основание штампа, 2 – обойма, 3 – вкладыш (4 шт.), 4 – крышка, 5 – заготовка, 6 – трубка для подвода инертного газа, 7 – стоки тепла, 8 – шпилька, 9 – кронштейн, 10 – платформа для отвода тепла, 11 – заглушка

### Метод решения

Для расчета ожидаемого качества штамповой оснастки разработан алгоритм определения готовности штамповой оснастки для штампования деталей в режиме газовой формовки (рис. 3).

Основные шаги алгоритма определения готовности штамповой оснастки для газовой формовки в режиме сверхпластичности материала:

- 1) определение ожидаемой безотказности штамповой оснастки (штампа);
- 2) выделение в штампе «определяющей» детали;
- 3) расчет качества «определяющей» детали [4];
- 4) расчет качества всего штампа на основе использования интегральной функции нормального распределения [5];
- 5) расчет уровня качества всего штампа;
- 6) назначение управляющих инженерно-технических решений для повышения качества штампа.

### Определение ожидаемой безотказности штамповой оснастки (штампа)

Все изделия после изготовления характеризуются так называемым сдаточным уровнем, который определяют по результатам испытаний всей партии продукции методом сплошного контроля (в аэрокосмической промышленности практически не используют методы выборочного контроля).

Смысл использования сдаточного уровня заключается в том, что детали, изготовленные во всех следующих партиях из такого же материала и по этой же технологии, после контроля признаются годными, если значение их контролируемого параметра удовлетворяет условию

$$Q_{\phi} \geq Q_{с.ур.}$$

где  $Q_{с.ур.}$  – значение параметра сдаточного уровня качества;  $Q_{\phi}$  – фактическое значение контролируемого параметра деталей [6].

На рис. 4 представлено графическое изображение принципа приемки продукции по «сдаточному уровню качества». Из графика следует также, что детали, удовлетворяющие принципу «сдаточного уровня качества» обладают также и соответствующей безотказностью (для деталей) или долговечностью (для материалов).

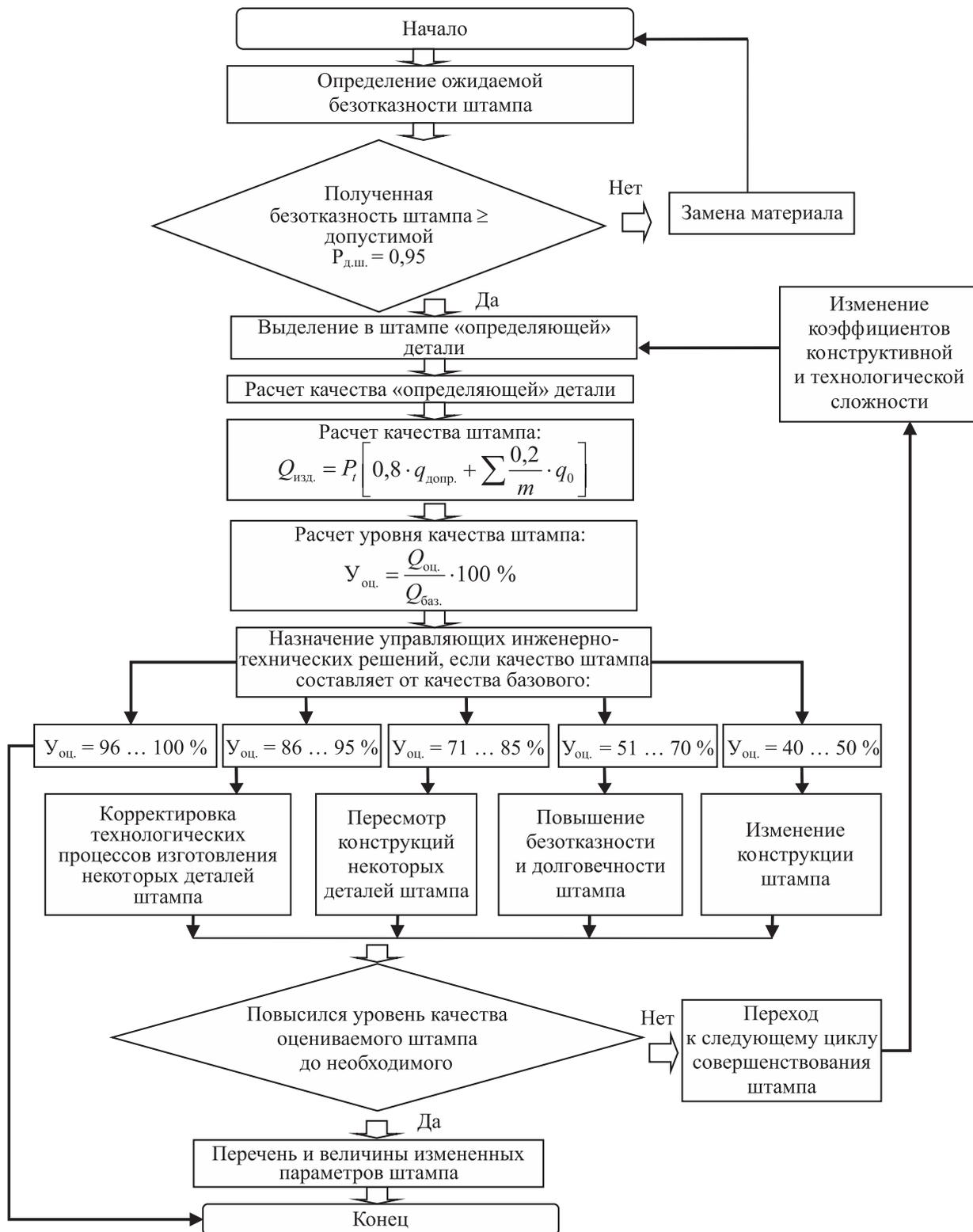
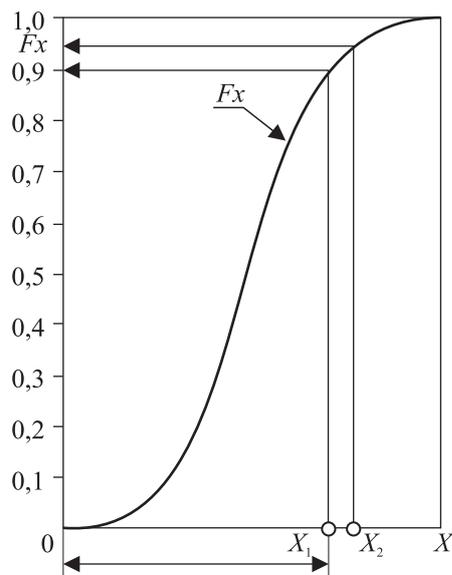


Рис. 3. Алгоритм определения готовности штамповой оснастки для штампования деталей в режиме газовой формовки



**Рис. 4.** Интегральная ( $F_x$ ) функция нормального распределения, описывающая связь качества готовых штамповок ( $F_x$ ) со значениями параметров готовых штамповок ( $x_1 \dots x_n$ ):  $X_1$  – сдаточный (допустимый) уровень качества по различным параметрам;  $X_2$  – фактический уровень качества по различным параметрам

*Выделение в штампе «определяющей» детали*

Необходимое качество получаемых полушфер зависит от:

- точности изготовления и качества поверхностей вкладышей;
- теплостойкости и коррозионной стойкости вкладышей;
- от долговечности материала вкладышей.

Поэтому очевидно, что приблизительно в 80 % случаев качество готовых штамповок зависит от свойств и параметров деталей «вкладыш», т.е. эта деталь в конструкции штампа является определяющей.

Определяющими деталями называют детали, удовлетворяющие принципу Парето. Принцип Парето («принцип 80/20» [7]), в приложении к расчетам качества технических изделий, описывается следующим образом: «определяющие детали в сборочной единице – это 20 % деталей, которые обеспечивают 80 % функциональности и надежности всей сборочной единицы». Использование этого принципа значительно сокращает процесс определения качества деталей, сборочных единиц и изделий.

Деталь № 1 (вкладыш) – отвечает принципу Парето, поэтому она имеет весомость относительно остальных деталей штампа  $\beta_{\text{опр.}} = 0,8$ . На остальные детали штампа приходится суммарная весомость  $\beta_{\text{опр.}} = 0,2$ .

*Расчет качества «определяющей» детали*

Признаки и параметры деталей машиностроения и приборостроения описаны в общероссийских технологических классификаторах ОК 020-95 и ОК 021-95 [8, 9]. Каждый признак или параметр детали имеет свой код в виде действительных чисел начиная с единицы.

В таблице представлен перечень параметров определяющей детали, из которых складывается обобщенное качество детали. Эти параметры указаны в классификаторе ОК 021-95 в разделе деталей, обработанных резанием (табл. 4.2-4.8 [9]). Коды классификатора трансформированы в вероятностные категории, которые соответствуют иерархии кодов классификатора ОК 021-95. Эти показатели безразмерные, т.е. представляют собой коэффициенты, отражающие значения параметров в вероятностных категориях в соответствии с иерархией кодов классификатора ОК 021-95.

После представления кодов ОК 021-95 в виде показателей качества, обобщенное качество детали определяют по формуле среднего геометрического

$$q_{д.н} = \sqrt[n]{\prod_1^n q_i},$$

где  $i$  – номер параметра детали ( $i = 1, 2 \dots n$ );  $n$  – количество параметров;  $q_i$  – код параметра детали ОК 021-95, выраженный в вероятностных категориях.

Все параметры, указанные в табл., имеют конкретные значения и указаны на чертеже детали. Для пяти параметров (см. табл.) формула оценки качества определяющей детали:

$$q_{д.5} = \sqrt[5]{\prod_1^5 q_i} = \sqrt[5]{q_{в.з.} \cdot q_{кв.} \cdot q_{i.пш} \cdot q_{2мо} \cdot q_{хм}},$$

где  $q_{д.5}$  – ожидаемое (вероятностное) качество детали, полученное по пяти параметрам, указанным в ОК 021-95.

*Расчет качества всего штампа на основе использования интегральной функции нормального распределения*

Качество изделия рассчитывают по формуле:

$$Q_{\text{изд.}} = P_t \left[ \sum_{i=1}^m \beta_i \cdot q_i \right],$$

где  $P_t$  – ожидаемая (проектная) безотказность изделия;  $m$  – количество деталей в изделии;  $\beta_i$  – весомости деталей;  $q_i$  – ожидаемое (вероятностное) качество деталей.

**Параметры<sup>1</sup> деталей машиностроения<sup>2</sup> для определения ожидаемого  
(вероятностного) качества детали**

№ пп	Параметр детали	Коды параметров по ОК 021-95 [9]	Модели преобразования кодов ОК 021-95 в коэффициенты, отражающие значения параметров в вероятностных категориях
1	Вид исходной заготовки $q_{в.з.}$	от 1 до 17	$q_{i.вк} = 1 - \frac{k_i}{\sum k_i}$
2	Средняя точность детали (коэффициент точности) $q_{кв.}$	от 1 до 6	$q_{i.вк} = 1 - \frac{(k_{\max} - k_i) + 1}{\sum k_i}$
3	Средняя шероховатость (коэффициент шероховатости) $q_{i.пш}$	от 1 до 6	$q_{i.вк} = 1 - \frac{(k_{\max} - k_i) + 1}{\sum k_i}$
4	Термическая обработка $q_{2.то}$	от 1 до 9	$q_{i.вк} = 1 - \frac{k_i}{\sum k_i}$
5	Характеристика массы $q_{хм}$	от 1 до 29	$q_{i.вк} = 1 - \frac{(k_{\max} - k_i) + 1}{\sum k_i}$

*Примечание:*

<sup>1</sup> наименование и значения параметров, в соответствии с ОК 021-95 (раздел обработка резанием таблицы 4.2-4.8) [9];

<sup>2</sup> технологический метод изготовления деталей по ОК 021-95 – «Детали, обрабатываемые резанием»;  $k_i, k_{\max}$  – номер кода параметра детали и номер последнего кода в иерархии данного параметра по классификатору ОК 021-95 [9].

При условии нормального распределения размеров и погрешностей изготовления функциональная связь показателей качества деталей с их весомостями описывается интегральной функцией нормального распределения, показанной на рис. 5.

Абсцисса графика интегральной функции (см. рис. 5) представляет собой шкалу качеств детали в интервале 0...1,0, а ордината графика – шкалу весомостей так же в интервале 0...1,0.

Поправка к интегральному (теоретическому) значению качества вводится потому, что в большинстве случаев показатели качества, полученные на основе параметров, указанных на чертеже детали, не совпадают с теоретическими значениями, которые дает интегральная функция. Поэтому для получения фактических значений качества детали определяют поправку  $\Delta_{q,i}$  на теоретические (интегральные) значения показателей качества, которую учитывают при определении качества остальных деталей при их известной весомости:

$$\Delta_{q,i} = q_{\text{факт.}} - q_{\text{опр.т.}}$$

где  $q_{\text{факт.}}$  – фактическое качество определяющей детали (определенное по чертежу детали);  $q_{\text{опр.т.}}$  – теоретическое (интегральное) значение показателя качества.

Таким образом, качество остальных деталей определяют по формуле:

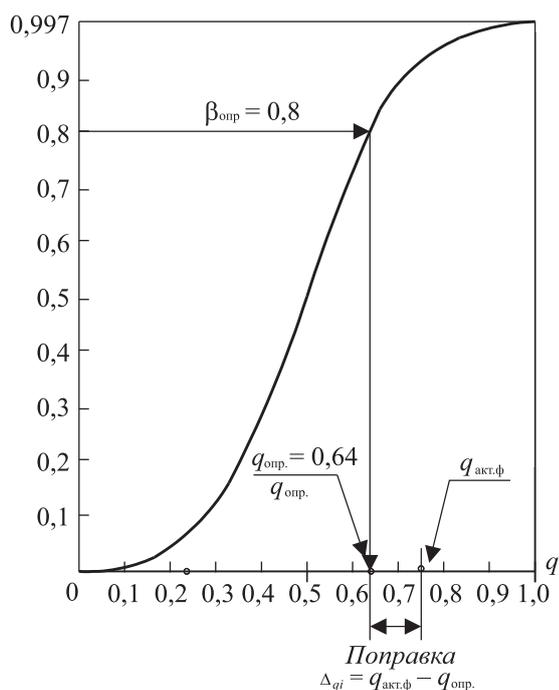
$$q_{\text{ост.}} = q_{\text{т.ост.}} + \Delta_{q,i}$$

где  $q_{\text{т.ост.}}$  – теоретическое качество остальных деталей (определенные по интегральной функции).

В случае использования принципа определяющей детали определение качества изделия описывается формулой:

$$Q_{\text{изд.}} = P_i [0,8 \cdot q_{\text{д.опр.}} + \sum \frac{0,2}{m} \cdot q_o],$$

где  $\beta_{\text{опр.}} = 0,8$  – весомость определяющей детали;  $q_{\text{д.опр.}}$  – ожидаемое (вероятное) качество определяющей детали; 0,2 – суммарная весомость остальных (рядовых) деталей;  $m$  – количество



**Рис. 5.** Интегральная функция нормального распределения, используемая при расчетах показателей качества и определении поправки к интегральному значению качества определяющей детали

остальных (рядовых) деталей;  $q_o$  – качество остальных (рядовых) деталей, определенное по интегральной функции, описывающей связь показателей качества их весомостей.

#### Расчет уровня качества штампа

По результатам расчета уровня качества формулируют предложения по улучшению качества оцениваемого изделия (штамповой оснастки). Уровень качества изделия – сравнение значений показателей качества оцениваемого изделия с базовым значением:

$$Y_{\text{оц.}} = \frac{Q_{\text{оц.}}}{Q_{\text{баз.}}} \cdot 100 \%,$$

где  $Y_{\text{оц.}}$  – уровень качества оцениваемого изделия;  $Q_{\text{оц.}}$  – качество оцениваемого изделия;  $Q_{\text{баз.}} = 0,95$  – среднее качество базовых изделий в машиностроении РФ [10].

#### Назначение управляющих инженерно-технических решений для повышения качества штампа

Предложения по улучшению качества оцениваемых изделий могут быть следующие:

а) если уровень качества оцениваемого изделия составляет 40–50 % от качества базового,

то качество изделия считается не приемлемым, и оцениваемое изделие возвращается на переработку;

б) если уровень качества оцениваемого изделия составляет 51–70 % от качества базового, то требуется пересмотр конструкции некоторых деталей изделия на основе последних достижений в данной области техники;

в) если уровень качества оцениваемого изделия составляет 71–85 % от качества базового, то требуется корректировка технологических процессов изготовления некоторых деталей;

г) если уровень качества оцениваемого изделия составляет 86–95 % от качества базового, то это означает, что функциональность оцениваемого изделия соответствует базовому, но требуется повысить безотказность изделия;

д) если уровень качества оцениваемого изделия составляет 96–100 % от качества базового, то корректировка не требуется, так как считается, что оцениваемое изделие приблизительно соответствует по качеству базовому. Разница в показателях качества 5 % представляет собой методическую ошибку, отражающую субъективность метода расчета качества по методу «определяющей» детали и сборочной единицы.

#### Заключение

Разработанный метод расчета качества штамповой оснастки по принципу «определяющей» детали расширяет возможности «анализа Парето» в приложении к расчетам качества технических изделий.

Принцип определения ожидаемой безотказности деталей штамповой оснастки является наиболее важным показателем качества. Достоверность и точность предложенного принципа определяется точностью значений указанных в таблицах Лапласа, которые используют для расчетов интегральной и дифференциальных функций нормального распределения.

На основе полученных математических моделей и алгоритма расчета качества штамповой оснастки разработана компьютерная программа «Определение готовности штамповой оснастки для штампования деталей в режиме газовой формовки».

Инженерно-технические решения, зависящие от разницы в показателях качества оцениваемого и базового изделий, позволят повысить качество и увеличить долговечность штамповой оснастки.

**Список литературы**

1. *Соболев Я.А., Петухов И.С.* Вязко-пластическое формообразование полусферических оболочек газом // Известия МГТУ «МАМИ», 2013. Т. 2. № 2. С. 67–71.
2. Баллоны высокого давления и топливные баки из титанового сплава для космических аппаратов. Совершенствование технологии изготовления / *Н.А. Маркачев, К.И. Михалевский, Я.А. Соболев, К.Я. Савинкова* // ВЕСТНИК НПО ИМ. С.А. ЛАВОЧКИНА. 2017. № 4 (38). С. 171–176.
3. *Соболев Я.А., Петухов И.С.* Метод управления деформированием листовой заготовки из титанового сплава путем изменения ее температурного поля // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 11-1. С. 247–252.
4. *Мартишкин В.В., Зайцев С.А., Сепесева Ю.А.* Определение качества технических изделий. Ч. 2. Определение качества технических изделий по методу «определяющей» детали // Машиностроение и инженерное образование. 2018. № 1. С. 17–25.
5. *Мартишкин В.В., Зайцев С.А., Сепесева Ю.А.* Определение качества технических изделий. Ч. 1. Использование свойств нормального распределения при расчетах качества технических изделий // Машиностроение и инженерное образование. 2017. № 4 (53). С. 2–10.
6. *Зоткин В.Е.* Методология выбора материалов и упрочняющих технологий в машиностроении. М.: ИНФРА-М, 2008. – 320 с.
7. *Зайцев С.А., Парфеньева И.Е., Вячеславова О.Ф.* Управление качеством: учеб. М. Изд-во «Кнорус», 2018. – 421 с.
8. ОК 020-95. Общероссийский классификатор деталей, изготавливаемых сваркой, пайкой, склеиванием и термической резкой (ОКД). М.: Из-во стандартов, 1995. – 20 с.
9. ОК 021-95. Общероссийский классификатор. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. М.: Из-во стандартов, 1995. – 250 с.
10. Управление качеством продукции машиностроения / *М.М. Кане и др.* М.: Изд-во «Машиностроение», 2010. – 415 с.

**СЕПЕСЕВА  
Юлия Анатольевна**

E-mail: [sepeseva15@mail.ru](mailto:sepeseva15@mail.ru)  
Тел.: (916) 383-05-73

Преподаватель, аспирант кафедры «Стандартизация, метрология и сертификация» Московского политехнического университета. Сфера научных интересов: управление качеством продукции. Автор шести статей.

**МАРТИШКИН  
Владимир Васильевич**

E-mail: [vmartishkin@mail.ru](mailto:vmartishkin@mail.ru)  
Тел.: (495) 276-37-55

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Стандартизация, метрология и сертификация» Московского политехнического университета. Сфера научных интересов: управление качеством автотракторной продукции на стадиях жизненного цикла. Автор 80 статей.

**ПЕТУХОВ  
Иван Сергеевич**

E-mail: [ivanpetukhovs@yandex.ru](mailto:ivanpetukhovs@yandex.ru)  
Тел.: (929) 931-61-91

Старший преподаватель кафедры «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» Московского политехнического университета. Сфера научных интересов: сверхпластичность высокопрочных сплавов и пневмоформовка. Автор четырех статей.