

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. №3 (141). С. 3-11.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. №3 (141). P. 3-11.

Научная статья
УДК 621.941.1; 621.941-229.3; 62-465
doi: 10.30987/2223-4608-2023-3-11

Методология проектирования токарных операций для обработки оболочечных корпусов

Артём Олегович Чуприков¹, к.т.н.,
Александр Сергеевич Ямников², д.т.н.

¹ Императорский Тульский оружейный завод, г. Тула, Россия

² Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

¹ artemline@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

² yamnikovas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9052-9666>

Аннотация. Рассмотрена методика проектирования токарных операций для обработки оболочечных корпусов. Предложена структурно-функциональная схема методики оптимизации технологических условий механической обработки оболочечных корпусов и концептуальная модель работы алгоритма, которые могут быть реализованы, в том числе, с использованием современных цифровых технологий.

Ключевые слова: классификатор, алгоритм, оболочечные корпуса, силы закрепления, обработка резанием, деформации, режимы резания

Для цитирования: Чуприков А.О., Ямников А.С. Методология проектирования токарных операций для обработки оболочечных корпусов // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. № 3 (141). С. 3–11. doi: 10.30987/2223-4608-2023-3-11

Design techniques for turning operations in shell casings processing

Artem O. Chuprikov¹, Ph.D. Eng.,
Alexander S. Yamnikov², D. Eng.

¹ Imperial Tula Arms Factory, Tula, Russia

² Tula State University, Tula, Russia

¹ artemline@rambler.ru, ² yamnikovas@mail.ru

Abstract. Designing techniques in turning operations for shell casings processing, is viewed. A structural and functional scheme of improvement practices for the technological conditions of shell casings mechanical processing and a conceptual model of the algorithm that can be implemented, including and specifically through modern digital technologies, are proposed.

Keywords: classifier, algorithm, shell casings, fastening forces, cutting processing, deformations, cutting modes

For citation: Chuprikov A.O., Yamnikov A.S. Design techniques for turning operations in shell casings processing. / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. № 3 (141). P. 3–11. doi: 10.30987/2223-4608-2023-3-11

В последнее время расширяется применение оболочечных корпусов, например, для малогабаритных летательных аппаратов. Для

эффективности функционирования оболочечные корпуса малогабаритных летательных аппаратов должны выдерживать высокое внут-

ренное давление и иметь небольшую массу. Такое сочетание требований достигают за счет минимизации толщины стенок при одновременном повышении прочности материала, для чего используют высокопрочные стали и легкие сплавы.

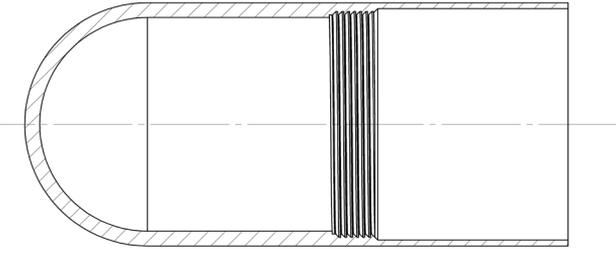
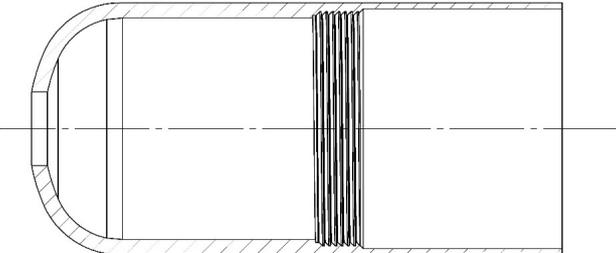
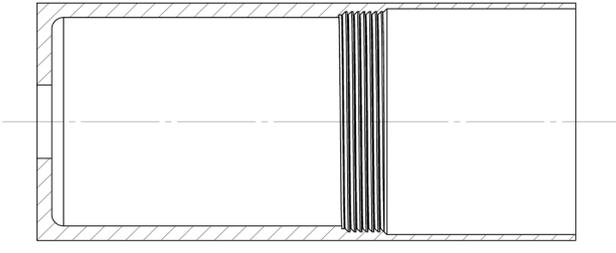
Обычно к оболочечным корпусам предъявляют высокие требования по точности размеров и геометрической формы, качеству поверхности и механическим свойствам, поэтому возникает необходимость применения рациональных методов их изготовления. При этом приходится учитывать принцип построения технологического процесса, основанный на выборе вида рабочих частей приспособлений и режущего инструмента, а также силовое

воздействие на заготовку в процессе ее формообразования.

Формально, по геометрическому признаку – по форме в соответствии с основными конструктивными понятиями, корпуса малогабаритных летательных аппаратов можно отнести по А.П. Соколовскому к классу «1.2 Втулки». Данный класс характеризуется наличием отверстия. Детали этого класса получают наименование: втулки, буксы, вкладыши, гильзы и т. п.»

Тонкостенные оболочки определяются в технической теории оболочек зависимостью: $h/a \leq 1/20$, где a – средний радиус детали; h – толщина стенки детали. Примеры некоторых оболочечных корпусов приведены в табл. 1.

1. Примеры оболочечных корпусов

№ п/п	Тип	Вид
1.	Стакан со сферическим дном	
2.	Стакан с криволинейным дном с отверстием	
3.	Стакан с плоским дном с отверстием	
4.	Труба	

Оболочечные корпуса представляют сочетание цилиндрических или конических поверхностей с плоским или сферическим дном, что видно из табл. 1.

Появление нового вида изделий – оболочек привело к созданию в механике математического аппарата для изучения их особенностей, среди которых выделяется низкая жесткость стенки при большой жесткости оболочки как геометрического тела большого диаметра. Однако для применения этого математического аппарата при разработке технологических операций механической обработки требуется адаптация к конкретным условиям приложения нагрузки от сил и моментов резания и закрепления.

В работе [1] авторами предложен алгоритм расчета режимов резания при токарной обработке оболочечных корпусов, где рекомендуется рассчитывать силы и скорость резания по справочнику технолога-машиностроителя [2], а затем, с помощью программного комплекса ANSYS, рассчитывать получающиеся при выбранной схеме установки упругие деформации заготовки. Если деформации больше

допустимых, тогда авторы предлагают итерационно снижать силу резания путем «смягчения» режима за счет увеличения количества рабочих ходов, т. е. за счет снижения производительности.

В методике, которая представлена в статье [1], количество проведения вычислительных циклов находится из составленной таблицы, состоящей из компоновки стандартное / специальное приспособление и стандартные / специальные режимы резания. Исходя из этого, подбирается количество проведенных циклов.

В существующих методиках подбора параметров механической обработки не учитывается возможность изменения условий приложения нагрузки от сил и моментов резания и закрепления путем применения специально разработанных приспособлений, снижающих упругие деформации заготовок. В этой связи предложена «Методика оптимизации технологических условий механической обработки на токарном станке оболочечных корпусов», структурно-функциональная схема которой приведена на рис. 1.

Методика выбора параметров механической обработки на токарном станке баллонов высокого давления

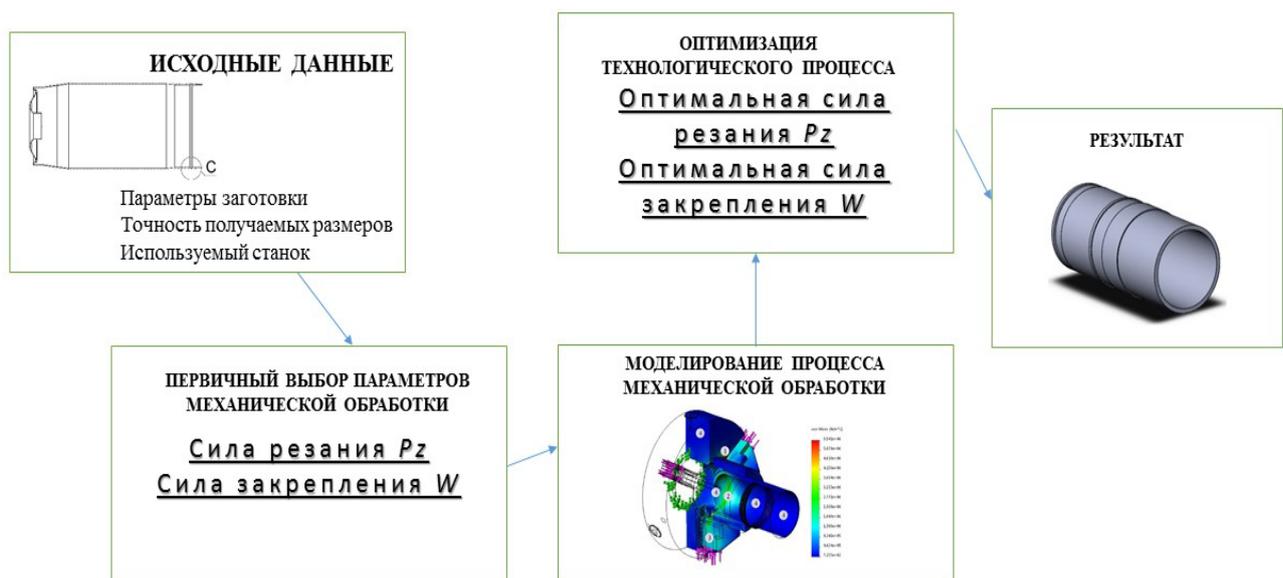


Рис. 1. Структурно-функциональная схема оптимизации условий механической обработки оболочечных корпусов

Методика основана на расчетно-моделируемых принципах выбора параметров обработки. Вначале составляется техническое задание, предметом которого является один из видов оболочечных корпусов. Перед построением маршрутного технологического процесса оценивается класс изделия и применяемых материалов. Исходя из этого, следует придерживаться рекомендаций по выбору вида механической обработки.

После этого необходимо, используя выбранные параметры обработки на токарном станке оболочечного корпуса, произвести расчеты и компьютерное моделирование. Далее, по результатам оценивают образующиеся погрешности и делают корректировки, например, уменьшают силу закрепления при уменьшении силы резания на основе увеличения числа рабочих ходов или уменьшения снимаемого припуска.

Сущность машинного метода заключается в использовании специальных программ компьютерного моделирования, таких как SolidWorks. Методика направлена на использование режимов резания, обеспечивающих минимальную силу закрепления заготовки и, как следствие, минимизацию погрешности формы в поперечном и продольном сечении, которые позволяют повысить качество обрабатываемых деталей вследствие уменьшения упругих деформаций в обработанной детали после раскрепления из патрона станка.

На процессы механической обработки заготовки оболочечного корпуса налагается ряд ограничений, например, по критериям: подача; скорость резания; стойкость инструмента.

В предлагаемой методике добавлен критерий, который будет налагать ограничения на величину погрешности формы продольного и поперечного сечения при закреплении в патроне станка заготовки оболочечного корпуса. Критерий будет основываться на сравнении результатов компьютерного моделирования с требованиями чертежа обрабатываемых заготовок оболочечных корпусов. Рассматривают параметры:

1. напряжения – величина напряжений не должна превышать предел упругости материала, из которого изготовлена заготовка оболочечного корпуса;

2. перемещения – величина перемещений не должна превысить поле допуска на соответствующие размеры.

Оптимизация режимов резания направлена на уменьшение силы резания, что в свою очередь влечет минимизацию сил закрепления. Для достижения цели необходимо использовать алгоритм оптимизационного поиска величин сил закрепления и сил резания. Концептуальная модель работы предлагаемого алгоритма представлена на рис. 2.

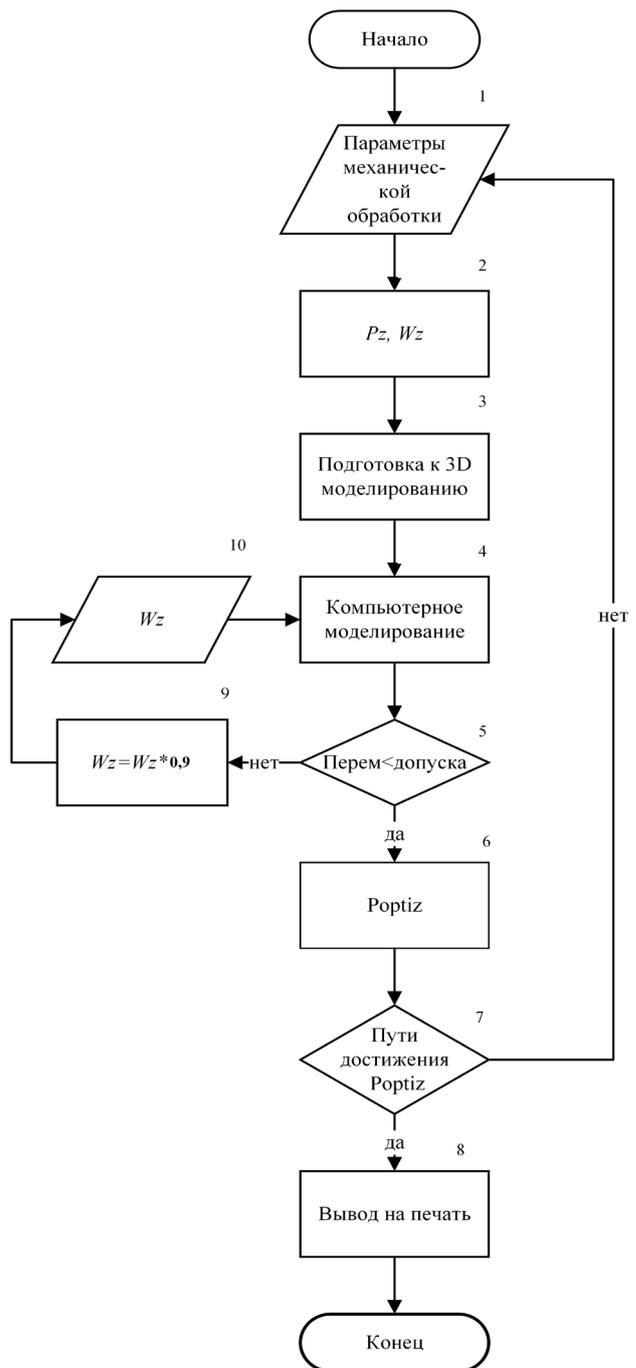


Рис.2. Концептуальная модель работы алгоритма

В блоке 1 «Параметры механической обработки» производят ввод исходных данных. Он включает в себя следующие составляющие:

1. марку обрабатываемой заготовки оболочечного корпуса;
2. вид проводимой технологической операции;
3. глубину срезаемого слоя;
4. материал режущего инструмента;
5. мощность используемого станка;
6. схему базирования заготовки оболочечного корпуса при механической обработке;
7. конструктивную схему приспособления.

Далее в блоке 2 процесса « Pz , Wz » производят расчет силы резания и закрепления заготовки в патроне станка по исходным данным с учетом известных формул.

В блоке 3 процесса «Подготовка к 3D моделированию» выполняют действия в трехмерной программной среде Solidworks:

1. Составление 3D модели заготовки оболочечного корпуса.
2. Составление 3D модели приспособления.
3. Создание сборки с участием 3D моделей заготовки оболочечного корпуса и приспособления.
4. Определение области перемещения движущихся частей приспособления.
5. Определение контактных площадок 3D моделей заготовки оболочечного корпуса и приспособления.
6. Приложение силы закрепления к подвижным частям приспособления, которые фиксируют заготовку оболочечного корпуса.
7. Создание 3D сетки в компьютерной среде 3D моделирования.

Затем следует блок 4 «Компьютерное моделирование». В нем осуществляется проведение процесса компьютерного моделирования с учетом всех исходных данных. В ходе компьютерного моделирования определяют напряжения и величины перемещений.

Последующий блок 5, это цикл решения «Перем<допуска». При соблюдении условия не превышения рассчитанных в предыдущем блоке величин перемещений по отношению к допускам на размеры оболочечного корпуса, осуществляется переход к следующему блоку

6 процесса «Portiz», где рассчитывают оптимальную силу резания, как функцию от оптимальной силы закрепления заготовки оболочечного корпуса в патроне станка.

Если не соблюдаются вышеуказанные условия, то цикл направляют на блок 9 процесса « $Wz = Wz*0,9$ », где с шагом 10 % уменьшают силу закрепления, и последующий блок 10 данных « Wz » вводит ее в исходные данные для компьютерного моделирования в блоке 4 процесса «Компьютерное моделирование».

После расчета оптимальной силы резания в блоке 6 процесса «Portiz» анализируют пути достижения оптимальной силы резания в процессе механической обработки. В блоке 7 цикла решения «Пути достижения Portiz», если получен результат «Да», то выявляют такие пути, например, снижением частоты вращения шпинделя, подачи суппорта, глубины срезаемого слоя, изменения метода нарезания резьбы, что фиксируют в блоке 8 вывода данных «Вывод на печать». После чего алгоритм заканчивается блоком «Конец».

Если по блоку 7 «Пути достижения Portiz» получен результат «нет», то производят возврат к первоначальному блоку 1 «Параметры механической обработки». Анализируют возможность глобальной корректировки процесса механической обработки для выполнения условия моделирования или выявления случая, где при выбранных условиях процесс обработки требует смены выбранного оборудования или даже типа технологической операции [3].

Отличие от методики, приведенной в статье [1], состоит в том, что в компьютерном моделировании моделируется не только закрепляемая заготовка, но и приспособление [4]. Создается «сборка» из приспособления и заготовки оболочечного корпуса, в котором также определяют подвижные части приспособления, фиксирующие заготовку оболочечного корпуса, и к ним в компьютерном моделировании прикладывают силы закрепления. В таком случае рассматривают влияние диаметра расточки кулачков патрона на заготовку оболочечного корпуса [5].

Также в представленной методике в случае невыполнения условия «Перем<допуска» производят последующий шаг: уменьшение

силы закрепления на выбранный эмпирический коэффициент 0,9...0,95, т.е. если в ходе проведенного моделирования выявилось, что критерии не соответствуют требуемым значениям, то проводят оптимизационный поиск величины силы закрепления. Необходимо с шагом 5 % уменьшать силу закрепления и заново проводить моделирование, и так далее 10 %, 15 %, 20 %, 25 %... Цикл повторяется до выполнения условия «Перем<допуска».

В момент, когда критерии станут соответствовать требуемым значениям, моделирование приостанавливается. Полученную силу закрепления принимают за основу обратного расчета, по которой рассчитывается оптимальная сила резания. Затем ищут пути достижения оптимальной силы резания и, в случае их отсутствия, производят возврат к началу.

Вышеуказанный машинный метод берет за свою основу расчеты деформационных погрешностей, возникающих при закреплении заготовки оболочечного корпуса. Авторами с использованием разработанных В.С. Корсаковым теоретических основ проектирования приспособлений были спроектированы специальные приспособления для закрепления нежестких оболочечных корпусов:

1. Патрон для закрепления длинномерных нежестких тонкостенных заготовок (Пат. 143098 РФ, МПК В23В 31/10).

2. Патрон для закрепления нежестких заготовок (Пат. 147617 РФ, МПК В23В 31/10.).

3. Цанговый токарный патрон (Пат. 2524518 РФ, МПК В23В 31/20 В23G 1/00).

4. Патрон для закрепления длинномерных нежестких тонкостенных заготовок (Пат. 143098 РФ, МПК В23В 31/10).

5. Оправка для закрепления тонкостенных цилиндрических заготовок (Патент RU 2688019, В23В31/40).

6. Способ нарезания резьбы и разжимная цанга (Пат. 2521567 РФ, МПК В23G1/02).

Эти разработки позволяют учитывать влияние упругих деформаций оболочечных корпусов при закреплении в станочных приспособлениях и уменьшать упругие деформации обрабатываемых поверхностей на порядок.

Например, если требуется уменьшить деформационные погрешности в стенках оболочечного корпуса типа 1 (см. табл. 1), то целесообразно создать встречное равномерно распределенное, созданное под всей периферией зажимного пояса усилие, препятствующее деформированию стенок оболочечного корпуса.

Для уменьшения упругих деформаций оболочечного корпуса разработана цанга, которую помещают в полость корпуса. В результате этого, при закреплении в зоне сжатия стенки, показанной стрелками, формируются встречные силы (рис. 3)

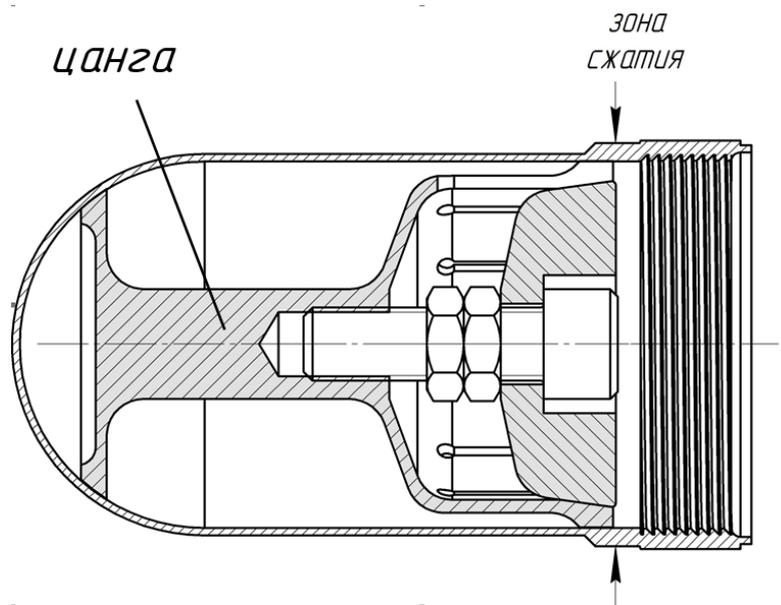


Рис. 3. Схема установки разжимной цанги в оболочечном корпусе

Разжимная цанга выполнена в виде разрезной чаши (рис. 4), лепестки которой отогнуты вовне, образуя с обратной стороны лепестка конический участок поверхности. Концы лепестков снабжены контактными площадками. В полость чаши помещен конус, поверхность которого сопряжена с коническими

участками лепестков чаши. В центре конуса выполнено сквозное отверстие, в котором размещен винт, ввинчивающийся в выполненное в ножке чаши, глухое резьбовое отверстие, а основание ножки снабжено кольцевым скосом, сопрягающимся с дном корпуса.



Рис. 4. Внешний вид разжимной цанги

Лепестки цанги можно, по аналогии с Патентом RU 2688019, покрыть упругопластичным материалом, например резиной или полипропиленом, обладающими повышенными диссипативными свойствами. В этом случае шероховатость обработанных поверхно-

стей уменьшается в 1,5 – 2 раза [6]. Растачивание внутреннего диаметра корпуса и нарезание внутренней упорной резьбы производят, закрепляя заготовку в трех кулачковом патроне (Пат. 147617 РФ) со специальными охватывающими секторами (рис. 5).



Рис. 5. Конструкция патрона для зажима оболочечного корпуса

Наличие охватывающих секторов позволяет уменьшить величину неизбежной грани в поперечном сечении оболочечного корпуса и позволяет отказаться от более трудоемких цанговых патронов, что повышает универсальность зажимного приспособления. Использование охватывающих кулачков вызывает контакт с поверхностью закрепляемой заготовки либо по трем точкам, либо по шести в зависимости от радиуса кривизны заготовки и конструкции кулачка.

Совместное применение представленных примеров конструкторско-технологических разработок в совокупности с разработанной методологией проектирования токарных операций для обработки оболочечных корпусов снижает максимальные перемещения стенок до 0,00508...0,00542 мм.

Выводы

1. Недопустимо большое деформирование заготовки под действием сил закрепления – является фактором, ограничивающим производительность механической обработки оболочечных корпусов.

2. Величина оптимальной силы закрепления заготовки в приспособлении прямо пропорциональна силам резания, достижение оптимальных значений которых находятся расчётноаналитическим путем.

3. Недостатком известных алгоритмов поиска оптимальных значений сил резания является только уменьшение этих сил путем снижения режимов резания, а, следовательно, и производительности.

4. Предложенные в статье структурно-функциональная схема методики оптимизации условий механической обработки оболочечных корпусов и концептуальная модель работы алгоритма могут быть реализованы с использованием современных цифровых технологий.

5. Одним из перспективных инструментов для оперативного определения ожидаемого поведения тонкостенных деталей является вычислительная программная система SolidWorks.

6. Методология проектирования токарных операций для обработки оболочечных

корпусов расширяет возможности технолога в выборе способа их изготовления, особенно в сочетании со специализированными конструкциями технологической оснастки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гаврюшин С.С., Жаргалова А.Д., Лазаренко Г.П., Семисалов В.И. Метод определения условий механической обработки тонкостенных деталей // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 11 (668). С. 53–61.

2. Дальский А.М., Суслов А.Г., Косилов А.Г., Мещеряков Р.К. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2. Москва, Машиностроение-1, 2001. 944 с.

3. Ямников А.С., Ямникова О.А., Чуприков А.О., Матвеев И.А. Упругие деформации заготовок полых осесимметричных корпусов при закреплении в трехкулачковых патронах // Черные металлы. 2018. № 6 (1038). С. 25–30.

4. Ямников А.С., Чуприков А.О. Токарные патроны для закрепления тонкостенных заготовок // Вестник машиностроения. 2015. № 8. С. 64–66.

5. Чуприков А.О., Ямников А.С. Моделирование погрешностей закрепления тонкостенных сварных корпусов в трехкулачковых патронах // Научные технологии в машиностроении. 2014. № 8. С. 18–22.

6. Ямников А.С., Богомолов М.Н. Центрирующая оправка повышенной виброустойчивости для фрезерования тонкостенных втулок // Черные металлы. 2019. № 5. С. 52–57.

REFERENCES

1. Gavryushin S.S., Zhargalova A.D., Lazarenko G.P., Semisalov V.I. Method of determining the conditions for machining thin-walled parts. News of higher educational institutions. Mechanical engineering, 2015, no. 11 (668), pp. 53–61.

2. Dalsky A.M., Suslov A.G., Kosilov A.G., Meshcheryakov R.K. Spravochnik tehnologa-mashinostroitel'ya [A guide for industrial mechanic engineer] in 2 vol., vol. 2. Moscow, Mashinostroenie-1, 2001, 944 p. (in Russian).

3. Yamnikov A.S., Yamnikova O.A., Chuprikov A.O., Matveev I.A. Elastic deformations of workpieces of hollow axisymmetric bodies when fastened in three-jaw chucks. Ferrous metals, Moscow, 2018, no. 6 (1038), pp. 25–30.

4. Yamnikov A.S., Chuprikov A.O. Chucks for thin-walled blanks. Bulletin of Mechanical Engineering, 2015, no. 8, pp. 64–66.

5. Chuprikov A.O., Yamnikov A.S. Modeling of errors in fixing thin-walled welded bodies in three-jaw chucks. Science-intensive technologies in mechanical engineering, Moscow, 2014, pp. 18–22.

6. Yamnikov A.S., Bogomolov M.N. Tsentriruyushchaya opravka povyshennoy vibroustoychivosti dlya frezerovaniya tonkostennykh vtulok [Centering mandrel of increased vibration resistance for milling thin-walled sleeves]. Ferrous metals, 2019, no. 5, pp. 52–57.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.01.2023; одобрена после рецензирования 03.02.2023; принята к публикации 08.02.2023.

The article was submitted 27.01.2023; approved after reviewing 03.02.2023; assepted for publication 08.02.2023.

