

Перспективы применения термоимпульсного метода удаления заусенцев с малогабаритных высокоточных деталей коаксиальных радиокомпонентов сверхвысокочастотной микроэлектроники

Ю. И. Карлина¹, С. К. Каргапольцев², В. Е. Гозбенко^{2,3}✉

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

² Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

³ Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

✉ vgozbenko@yandex.ru

Резюме

В статье обозначена проблема появления заусенцев после механообработки при изготовлении деталей коаксиальных радиокомпонентов сверхвысокочастотной микроэлектроники. Используемые на производстве методы борьбы с заусенцами имеют такие недостатки, как высокая трудоемкость и длительное время финишной обработки. Подбор альтернативных методов удаления заусенцев является актуальной задачей, решение которой позволит снизить трудоемкость и время изготовления деталей. Рассмотрены перспективы применения термоимпульсного метода удаления заусенцев с малогабаритных высокоточных деталей, имеющих труднодоступные поверхности, приведены примеры существующих отечественных и зарубежных термоимпульсных установок. Исследован принцип работы и проведен анализ технических характеристик и их соответствие требованиям производителей деталей коаксиальных радиокомпонентов сверхвысокочастотной микроэлектроники по используемым материалам, размерам возникающих заусенцев, конструкционным особенностям, габаритам и объемам партий деталей. Сделан вывод о перспективности применения термоимпульсных установок для удаления заусенцев с деталей коаксиальных радиокомпонентов сверхвысокочастотной микроэлектроники. Отечественные образцы обладают преимуществом в отношении параметров «цена – качество» по сравнению с зарубежными образцами. Применяемые в производстве деталей коаксиальных радиокомпонентов материалы подлежат обработке в термоимпульсной установке. Размеры возникающих заусенцев и их соотношение с толщиной элементов конструкции деталей также позволяет подобрать режим обработки, при котором заусенцы удалены и сохранится геометрия деталей. Линейка моделей позволяет выбрать термоимпульсную установку требуемого объема камеры исходя из размеров деталей и партии загрузки.

Ключевые слова

заусенцы, дефекты поверхности, методы финишной обработки, термоимпульсный метод удаления заусенцев, детали радиоэлектронной аппаратуры

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90184.

Для цитирования

Карлина Ю. И. Перспективы применения термоимпульсного метода удаления заусенцев с малогабаритных высокоточных деталей коаксиальных радиокомпонентов сверхвысокочастотной микроэлектроники / Ю. И. Карлина, С. К. Каргапольцев, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 65 № 1. – С. 8–13. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.1(65).8-13

Информация о статье

поступила в редакцию: 18.10.2019, поступила после рецензирования: 22.11.2019, принята к публикации: 07.12.2019

Prospects for application of the thermal impulse method for removing burrs from small high-precision parts of coaxial radio components of ultra-high frequency microelectronics

Yu. I. Karlina¹, S. K. Kargapol'tsev², V. E. Gozbenko^{2,3}✉

¹ Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation

² Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

³ Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

✉ vgozbenko@yandex.ru

Abstract

The article indicates a problem of the occurrence of burrs after machining in the manufacture of parts of coaxial radio components of ultra-high frequency microelectronics. The burr control methods used in production have a number of disadvantages, such as high labor input and long finishing times. The selection of alternative methods of deburring is an urgent task, the solution

of which will reduce the labour hours and time of manufacturing parts. The paper considers the prospects of using the thermal impulse method of deburring from small-sized high-precision parts having hard-to-reach surfaces. It gives examples of existing domestic and foreign thermal impulse installations. The principle of operation of parts for coaxial radio components of ultra-high frequency microelectronics according to the materials used, the size of burrs that occur, design features, dimensions and sizes of parts is investigated. The analysis of technical characteristics and their compliance with the requirements of manufacturers are carried out. It is concluded that the use of thermal impulse installations is promising for deburring parts of coaxial radio components of ultra-high frequency microelectronics. The advantages of domestic samples are combination of price and quality in comparison with foreign samples. Materials used in the production of parts of coaxial radio components are to be processed in the thermal impulse installation. The size of the occurring burrs and their relationship with the thinness of the structural elements of the parts also allow one to choose a processing mode in which burrs will be removed and the geometry of the parts will be preserved. The line of models makes it possible to choose the thermal impulse installation of the required chamber volume, based on the dimensions of the parts and the batch of loading.

Keywords

burrs, surface defects, finishing methods, thermal impulse method of deburring, parts of radio electronic equipment

Acknowledgements

The reported study was funded by the Russian Foundation for Basic Researches, project No. 19-38-90184

For citation

Karlina Yu. I., Kargapol'tsev S. K., Gozbenko V. E. Perspektivy primeneniya termoimpul'snogo metoda udaleniya zausentsev s malogabaritnykh vysokotochnykh detalei koaksial'nykh radiokomponentov sverkhvysokochastotnoi mikroelektroniki [Prospects for application of the thermal impulse method for removing burrs from small high-precision parts of coaxial radio components of ultra-high frequency microelectronics]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 65, No. 1, pp. 8–13. 10.26731/1813-9108.2020.1(65).8-13

Article Info

Received: 18.10.2019, Revised: 22.11.2019, Accepted: 07.12.2019

Введение

При изготовлении деталей для производства коаксиальных радиокomпонентов возникает проблема появления заусенцев на внутренних и наружных поверхностях деталей после механообработки. По техническим требованиям к деталям коаксиальных радиокomпонентов наличие заусенцев не допускается [1, 2]. Если удаление заусенцев с наружных поверхностей легко осуществимо методом отделочно-абразивной отделки в среде свободных абразивов, например, мокрой галтовкой в галтовочном барабане с подобранными наполнителями, то удаление заусенцев с внутренних, труднодоступных поверхностей представляет довольно сложную задачу [3, 4]. В данной статье рассматривается один из перспективных методов удаления заусенцев с деталей радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) – термоимпульсный метод.

Материалы и методы исследования

В рамках данного исследования проведен анализ международного и отечественного опыта применения термоимпульсного метода удаления заусенцев. Рассмотрены примеры термоимпульсных установок ТЕМС-250, ТЕМР-250, ТЕМР-400, разработанных фирмой «BOSCH» (Германия), и входящей в Концерн «Kennametal» фирмой «Extrudhone» (США), установки New-ТЕМ с горизонтальной камерой сгорания, запатентованные и выпускаемые итальянской компанией «SGM», установки ATL ITEM 200/1200 LC, ATL ITEM250SC, ATL ITEM320SC, ATL ITEM400/600, ATL ITEMPLASTICS компании

ATL «Anlagentechnik Luhden GmbH» (Германия), а также установок отечественного производства Pulsar WKF, разработанных фирмой «Альфа Стил» (г. Санкт-Петербург).

Результаты исследований и обсуждение

Установки для снятия заусенцев термоимпульсным методом (ТЕМ) разработаны и широко применяются фирмой «BOSCH» (Германия) и входящей в Концерн «Kennametal» фирмой «Extrudhone» (США). Этот метод основан на использовании принципа сжигания заусенцев при воспламенении смеси газов [5–7]. Установка для реализации этого процесса (рис. 1) состоит из рабочей камеры (1), гидроцилиндра для сжатия смеси газов в рабочей камере (2), газоподготовительного блока (3) и блока для подачи газа (4) в камеру (1).

Технологическая обработка деталей включает последовательное выполнение следующих операций:

- подача деталей в рабочую камеру (1);
- приготовление смеси газов (природный газ, кислород, воздух) определенного количественного состава, обеспечиваемого автоматически блоком (3);
- подача газовой смеси в рабочую камеру системы гидроцилиндров (4);
- сжатие газовой смеси в рабочей камере до давления в интервале 5–28 бар с помощью гидроцилиндра (2);
- воспламенение газовой смеси в камере с деталями;
- возврат гидроцилиндра (2) в исходное положение, разгерметизация камеры и выгрузка деталей с одновременной загрузкой следующей партии.

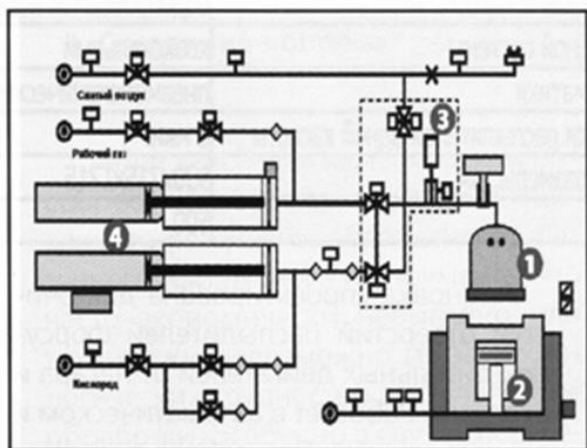


Рис. 1. Принципиальная схема установки для снятия заусенцев термоимпульсным методом
Fig. 1. The schematic diagram of a unit for deburring using a thermal pulse method

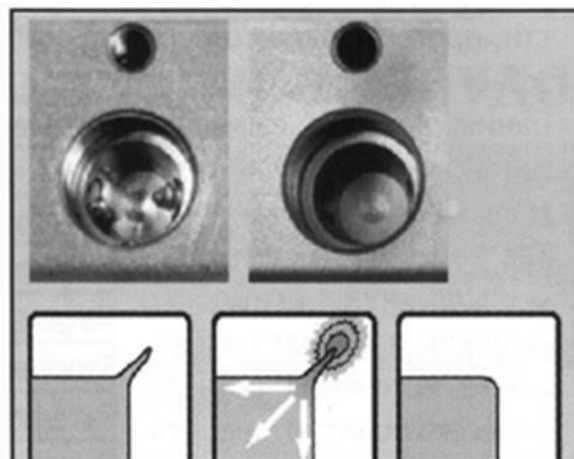


Рис. 2. Фазы обработки детали: заусенец, сгорание заусенца, очищенная деталь
Fig. 2. Part processing phases: burr, burning away the burrs, cleaned part

Воспламенение и сгорание газов происходит за очень короткое время и носит характер вспышки («взрыва»). В результате в объеме камеры генерируется мощный кратковременный импульс тепловой энергии (2500–3500 °С), сжигающий заусенцы (рис. 2). Аналогичным образом заусенцы сжигаются на всех внешних и внутренних поверхностях деталей с характерным скруглением острых кромок [7–9].

Разработчиками отмечается, что после обработки ТЕМ на поверхности деталей возможно образование оксидной пленки, не снижающей эксплуатационных свойств, но несколько ухудшающей товарный вид деталей. Однако этот недостаток легко устраняется последующим анодированием. Метод обработки и промышленные установки для удаления заусенцев ТЕМ не имеют ограничений по маркам конструкционных материалов (сталь, чугун, алюминиевые сплавы, сплавы латуни, бронзы), размерам и сложности деталей [9]. Общий вид установки приведен на рис. 3. Далее приведены характеристики типового оборудования (табл. 1).



Рис. 3. Общий вид установки для удаления заусенцев термоимпульсным методом
Fig. 3. General view of the device for deburring by thermal pulse method

Таблица 1. Характеристики типового оборудования для удаления заусенцев термоимпульсным методом
Table 1. Characteristics of standard thermal impulse deburring equipment

Модель	Диаметр рабочей камеры, мм	Высота рабочей камеры, мм	Давление газа в камере, бар	Время обработки, с	Габариты установки, мм	Вес, кг
ТЕМС-250	175	150	5–20	30	2 370×1 800×2 525	7 260
	200		5–16			
	250		5–13			
ТЕМП-250	175	150	5–20	30	3 500×2 000×3 350	8 160
	200		5–16			
	250		5–13			
ТЕМП-400	200	175	5–28	60	3 600×2 000×3 300	11 800
	250	175	5–20			
	300	175	5–15			
	400	300	5–11			

Преимущества установок для удаления заусенцев ТЕМ:

- качественное удаление заусенцев на поверхностях любой сложности;
- простота переналадки, управления и контроля;
- возможность интеграции в производственную линию с ручным или автоматическим управлением;
- высокая производительность и экономичность [10–15].

Отечественные предприятия, имеющие опыт промышленного использования установок моделей для удаления заусенцев ТЕМ:

- ОАО «ЯЗДА» – производство дизельных агрегатов и топливоподающих систем;
- ОАО «Гидромаш» – производство гидроагрегатов;
- компания «Компрессор» – производство холодильного оборудования;
- ОАО «Ковровский электромеханический завод» – производство гидравлического оборудования для авиационной промышленности.

В настоящее время имеется опыт успешного импортозамещения таких установок.

«Альфа Стил» – современная, идущая в ногу со временем компания, сочетающая в себе научную и производственную базу, оборудованная высокотехнологичными токарными, фрезерными, гибочными станками с числовым программным управлением ведущих мировых производителей: HAAS, NOMURA, FULLAND, YCM и др. [12–15].

Объединив в себе производственные, инженерные и конструкторские компетенции, подтвержденные многолетним опытом, «Альфа Стил» производит не имеющую аналогов в России термоимпульсную установку для снятия заусенцев Pulsar VKF.

Установка Pulsar VKF позволяет эффективно использовать метод термоимпульсного снятия заусенцев в современном производстве деталей приборостроения и машиностроения. Результатом обработки является полное удаление заусенцев и грата со всех внешних и внутренних кромок детали на внешней поверхности, а также во всех скрытых и недоступных полостях без нарушения геометрии и размеров, с сохранением качества поверхности и шероховатости [16–18], следствием чего является:

- малые временные затраты на обработку одной крупной детали, либо партии мелких деталей (время цикла обработки 90 с);
- прямое сокращение затрат на персонал (для работы с установкой, а также для ее настройки и наладки, требуется всего один оператор);
- экологичность и безопасность метода (подтверждены испытаниями и практическим использованием установки на современном производстве).

Как и у зарубежных производителей, у фирмы «Альфа Стил» имеется линейка моделей термоимпульсных установок с различным объемом рабочей

камеры (\varnothing и h соответственно): 150 мм и 200 мм; 250 мм и 270 мм; 350 мм и 370 мм; 450 мм и 400 мм;

Ниже приведен общий вид и технические характеристики установки малых размеров рабочей камеры, которая хорошо подходит для обработки малогабаритных деталей для коаксиальных радиокомпонентов, выпускаемых небольшими партиями (рис. 4), (табл. 2).



Рис. 4. Внешний вид установки Pulsar VKF-3.250
Fig. 4. Appearance of the Pulsar VKF-3.250 installation

Таблица 2. Технические характеристики установки Pulsar VKF-3.250

Table 2. Technical characteristics of the Pulsar VKF-3.250 unit

Характеристика	Значение
Диаметр рабочей камеры	250 мм
Высота рабочей камеры	270 мм
Габариты цилиндрических заготовок	$\varnothing 220 \times h 250$ мм
Габариты призматических заготовок	150×150×250 мм
Давление горючей смеси	18,0 бар
Длительность теплового воздействия на деталь	Не более 0,05 с
Рабочие газы	Метан, пропан, кислород
Толщина удаляемого заусенца	Не более 0,2 мм
Обрабатываемые материалы	Пластик, черные и цветные сплавы, нержавеющая сталь
Время продолжительности одного рабочего цикла	15–120 с
Соотношение толщины ликвидов и минимальной толщины детали	1/4–1/6
Установленная мощность	5,0 кВт
Максимальная температура воздействия	3 500 °С
Габариты установки	2 700×2 200×2 400 мм
Масса установки	6 500 кг
Система управления	ARM Cortex M3 STM

Приведены также допустимые размеры удаляемых заусенцев на обрабатываемых в термоимпульсной установке Pulsar VKF материалах (табл. 3).

Таблица 3. Обрабатываемые материалы и размеры заусенцев, удаляемых установкой Pulsar VKF**Table 3.** Materials and burrs to be removed by the Pulsar VKF unit

Обрабатываемые материалы	Размер удаляемых заусенцев, мм ²
Алюминиевые сплавы	0,1
Цинковые сплавы	0,1
Медь	0,1
Бронза	0,1
Латунь	0,1
Титан	0,1
Сталь	0,3
Чугун	0,3
Капролон	0,3
Пластмассы	0,3

Используемые в производстве коаксиальных радиокомпонентов материалы – латунь, бериллиевая бронза, ковар находятся в перечне обрабатываемых такими установками материалов. Размеры возникающих заусенцев менее 0,1 мм², тонкостенность деталей превышает 0,4 мм, что также находится в пределах, обеспечивающих успешное удаление заусенцев и сохранение геометрии деталей.

Заключение

Для очистки поверхностей деталей коаксиальных радиокомпонентов от заусенцев, появляющихся после механообработки, возможно применение термоимпульсного метода удаления заусенцев. Существуют как импортные, так и отечественные образцы термоимпульсных установок для удаления заусенцев. Отечественные установки производства фирмы «Альфа Стил» вполне удовлетворяют требованиям данного производства, а их стоимость значительно ниже зарубежных аналогов.

Список литературы

1. ОСТ 4ГО.070.014-79. Детали радиоэлектронной аппаратуры; М.: ООО «Радиостандарт-ЦНИИРЭС». М., 1992. – 15 с.
2. STD-01. WBTC.1996, draft. –DeburringTechnologyInternational, Inc., KansasCity, MO.
3. Тамаркин М.А., Колганова Е.Н., Федоров А.В. Исследование процесса удаления заусенца при вибрационной обработке деталей радиоэлектронной аппаратуры. Вестник современных технологий. 2019. № 3 (15). – С. 41–46.
4. Тамаркин М.А., Смоленцев Е.В., Колганова Е.Н. Анализ современного состояния финишных методов обработки в среде свободных абразивов деталей, имеющих малые пазы и отверстия / Вестник Воронежского Государственного технического университета. 2019. № 1. Том 15. – С. 122–129.
5. Лосев А.В. Повышение эффективности зачистки деталей пневматических и гидротопливных систем при использовании термоимпульсного метода: дис.... канд. техн. наук: 05.02.08 – Харьков, 1995. – 210 с.
6. Жданов А.А. Термоимпульсные технологии очистки поверхностных деталей агрегатов авиационных двигателей: дис....канд. техн. наук: 05.07.04. – Харьков, 2003. – 120 с.
7. Сломинская Е.Н. Термоимпульсная отделка поверхностей деталей летательных аппаратов: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04. – Харьков, 1996. – 165 с.
8. Чечета И.А., Зенин В.Л., Чечета А.Е. Высокоэффективные методы производства для удаления заусенцев фронтом пламени / Вестник Воронежского Государственного технического университета. 2012. № 4. Т. 8. – С. 118–121.
9. Электрофизические и электрохимические методы обработки и технологии в машиностроении. Ч. 1. учеб. пособ. / В.С. Кобчиков, В.Н. Кудрявцев, М.Т. Коротких, В.И. Никифоров, М.М. Радкевич; под ред. В.И. Никифорова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 602 с.
10. Планковский С.И. Математическое моделирование горения топливной смеси в камерах термоимпульсных машин с учетом перехода сгорания в детонационный режим / С.И. Планковский, О.В. Шипуль, О.В. Трифонов, В.Г. Козлов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011.
11. Gillespie L. Deburring and edge finishing hand-book / L. Gillespie. – New York City: Industrial Press, 1999. – 404 p.
12. Планковский С.И. Направления совершенствования систем дозирования энергии термоимпульсного оборудования для финишной очистки / С.И. Планковский, О.В. Шипуль, О.С.Борисова, В. Г. Козлов // Открытые информационные и компьютерные технологии. – Х., «ХАИ». – 2010. – Вып. 45. – с. 99–108.
13. Сысоев А.Ю. Разработка и исследование генератора смесей газов для получения сложнокомпозиционных ионно-плазменных покрытий / А.Ю. Сысоев: дис. ... канд. тех. наук : 05.03.07. – Харьков – 2011. – 181 с.
14. Совершенные технологические решения. Интернет-ресурс: <https://produkttech.com/wp-content/uploads/kennametal-brochure.pdf> (дата доступа 20.01.2020).
15. Современные технологии удаления заусенцев в отверстиях малых диаметров при изготовлении деталей гидравлического оборудования. Интернет-ресурс: <https://stanko-arena.ru/article/sovremennye-tekhnologii-udaleniya-zausentsev-v-otverstyakh-malykh-diametrov.html> (дата доступа 20.01.2020).
16. John Halladay. Практическое применение методов термического и электрохимического удаления заусенцев. Интернет-ресурс: <http://stankoforward.ru/tehnologii-udaleniya-zausentsev> (дата доступа 20.01.2020).
17. Инженерия поверхности деталей / под ред. А.Г. Сулова. М. : Машиностроение. 2008. – 320 с.
18. Титов С.Н. Снятие заусенцев термоимпульсной установкой Pulsar TI-576 / Вестник научных конференций. 2016. № 12-4. Изд-во: ООО «Консалтинговая компания» (Тамбов). – с. 176–177.

References

1. OST 4GO.070.014-79. Detali radioelektronnoi apparatury [OST 4GO.070.014-79. Parts of electronic equipment]. Moscow: OOO Radiostandart-TsNIIRES Publ., 1992. 15 p.
2. STD-01. WBTC.1996, draft. DeburringTechnologyInternational, Inc., KansasCity, MO.
3. Tamarkin M.A., Kolganova E.N., Fedorov A.V. Issledovanie protsessy udaleniya zausentsa pri vibratsionnoi obrabotke detalei radioelektronnoi apparatury [The study of the process of deburring during vibration processing of parts of electronic equipment]. Vestnik sovremennykh tekhnologii [Bulletin of modern technology], 2019, No. 3 (15), pp. 41–46.
4. Tamarkin M.A., Smolentsev E.V., Kolganova E.N. Analiz sovremennogo sostoyaniya finishnykh metodov obrabotki v srede svobodnykh abrazivov detalei, imeyushchikh malye pazy i otverstiya [Analysis of the current state of finishing methods of processing in the environment of free abrasives of parts having small grooves and holes]. Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [The Bulletin of the Voronezh State Technical University], 2019, No. 1, Vol. 15, pp. 122–129.
5. Losev A.V. Povyshenie effektivnosti zachistki detalei pnevmaticheskikh i gidrotoplivnykh sistem pri ispol'zovanii termoimpul'snogo metoda: dis... kand. tekhn. nauk: 05.02.08 [Improving the efficiency of stripping parts of pneumatic and hydro-fuel systems using the thermal pulse method: Ph.D. (Engineering) diss.: 05.02.08]. Khar'kov, 1995. 210 p.
6. Zhdanov A.A. Termoimpul'snye tekhnologii ochistki poverkhnostnykh detalei agregatov aviatsionnykh dvigatelei: dis...kand. tekhn. nauk: 05.07.04 [Thermal pulse technologies for cleaning the surface parts of aircraft engine assemblies: Ph.D. (Engineering) diss.: 05.07.04] Khar'kov, 2003. 120 p.
7. Slominskaya E.N. Termoimpul'snaya otdelka poverkhnosti detalei letatel'nykh apparatov: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.07.04 [Thermopulse surface finish of aircraft parts: Ph.D. (Engineering) diss.: 05.07.04]. Khar'kov, 1996. 165 p.
8. Checheta I.A., Zenin V.L., Checheta A.E. Vysokoeffektivnye metody proizvodstva dlya udaleniya zausentsev frontom plameni [Highly efficient production methods of deburring by a flame front]. Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [The Bulletin of the Voronezh State Technical University], 2012, No. 4, Vol. 8, pp. 118–121.
9. Kobchikov V.S., Kudryavtsev V.N., Korotkikh M.T., Nikiforov V.I. et al. Elektrofizicheskie i elektrokhimicheskie metody obrabotki i tekhnologii v mashinostroenii [Electrophysical and electrochemical processing methods and technologies in mechanical engineering]. Part 1. A textbook; In Nikiforov V.I. (ed.) St. Petersburg Politekh. un-ty Publ., 2017. 602 p.
10. Plankovskii S.I., Shipul' O.V., Trifonov O.V., Kozlov V.G. Matematicheskoe modelirovanie goreniya toplivnoi smesi v kamerakh termoimpul'snykh mashin s uchetom perekhoda sgoraniya v detonatsionnyi rezhim [Mathematical modeling of the combustion of the fuel mixture in the chambers of thermo-pulse machines taking into account the transition of combustion to detonation mode]. Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya [Aerospace engineering and technology], 2011.
11. Gillespie L. Deburring and edge finishing handbook. New York City: Industrial Press, 1999. 404 p.
12. Plankovskii S.I., Shipul' O.V., Borisova O.S., Kozlov V. G. Napravleniya sovershenstvovaniya sistem dozirovaniya energii termoimpul'snogo oborudovaniya dlya finishnoi ochistki [Directions of improvement of energy metering systems for thermal pulse equipment for finishing cleaning]. Otkrytye informatsionnye i komp'yuternye tekhnologii [Open information and computer technology], Khabarovsk, KhAI Publ., 2010. Issue 45, pp. 99–108.
13. Sysoev A.Yu. Razrabotka i issledovanie generatora smesei gazov dlya polucheniya slozhnokompozitsionnykh ionno-plazmennyykh pokrytii: dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.03.07 [Development and research of a gas mixture generator to obtain complex-positioned ion-plasma coatings: Ph.D. (Engineering) diss.: 05.03.07]. Khar'kov, 2011, 181 p.
14. Sovershennyye tekhnologicheskie resheniya [Perfect technological solutions]. URL: <https://produkttech.com/wp-content/uploads/kennametal-brochure.pdf> (access date: 20 Jan 2020).
15. Sovremennyye tekhnologii udaleniya zausentsev v otverstiyakh malykh diametrov pri izgotovlenii detalei gidravlicheskogo oborudovaniya [Modern technologies for deburring holes of small diameters in the manufacture of parts for hydraulic equipment]. URL: <https://stanko-arena.ru/article/sovremennyye-tekhnologii-udaleniya-zausentsev-v-otverstiyakh-malykh-diametrov.html> (access date: 20 Jan 2020).
16. Halladay J. Prakticheskoe primeneniye metodov termicheskogo i elektrokhimicheskogo udaleniya zausentsev [Practical application of thermal and electrochemical deburring methods]. URL: <http://stankoforward.ru/tekhnologii-udaleniya-zausentsev> (access date: 20 Jan 2020).
17. Suslov A.G. (ed.) Inzheneriya poverkhnosti detalei [Engineering surface details]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2008, 320 p.
18. Titov S.N. Snyatie zausentsev termoimpul'snoi ustanovkoi Pulsar TI-576 [Deburring with a Thermal Pulse Pulsar TI-576]. Vestnik nauchnykh konferentsii [The Bulletin of scientific conferences], 2016, No. 12-4. OOO Konsaltingovaya kompaniya Publ. (Tambov), pp. 176–177.

Информация об авторах

Карлина Юлия Игоревна – научный сотрудник Научно-исследовательской части, аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: karlinigor@mail.ru

Каргапольцев Сергей Константинович – д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kck@irgups.ru

Гозбенко Валерий Ерофеевич – д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Information about the authors

Yuliya I. Karlina – Member of Research Department, Ph.D. student, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: karlinigor@mail.ru

Sergei K. Kargapol'tsev – Doctor of Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kck@irgups.ru

Valerii E. Gozbenko – Doctor of Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: vgozbenko@yandex.ru