

УДК 621.0481

**Е. Н. Колганова**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, **Е. П. Мельникова**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
**В. А. Лебедев**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, проф., **А. П. Шишкина**<sup>1</sup>, канд. техн. наук.

<sup>1</sup>Донской государственный технический университет (ДГТУ), Россия

<sup>2</sup>Донецкий национальный технический университет, ДНР

Тел./Факс: +7 (909) 430-95-99; E-mail: [elenkolg@list.ru](mailto:elenkolg@list.ru)

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВИБРАЦИОННОЙ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

*В статье рассмотрен процесс проектирования технологии вибрационной обработки природными средами. Определены расчетные зависимости для определения массоразмерного соотношения компонентов комбинированной среды. Предложена методика проектирования технологии виброотделки деталей радиоэлектронной аппаратуры с малыми отверстиями и пазами. Предложены технологические рекомендации по практическому применению методики проектирования технологии виброотделки деталей с малыми отверстиями и пазами.*

**Ключевые слова:** технология, вибрационная обработка, детали радиоэлектронной аппаратуры

Y. N. Kolganova, E. P. Melnikova, V. A. Lebedev, A. P. Shishkina

## DEVELOPMENT OF VIBRATION FINISHING AND STRIPPING TECHNOLOGY PROCESSING OF ELECTRONIC EQUIPMENT PARTS

*The article describes the process of designing the technology of vibration treatment with natural media. The calculated dependences for determining the mass-dimensional ratio of the components of the combined medium are determined. The method of designing the technology of vibration separation of electronic equipment with small holes and grooves is proposed. Technological recommendations on the practical application of the design methodology for the technology of vibration separation of children with small holes and grooves are proposed.*

**Keywords:** technology, vibration processing, details of electronic equipment

### 1. Введение

Современный этап развития технологии машиностроения характеризуется ростом требований к качеству и надежности изделий, повышению их эксплуатационных свойств. Выпускаемая на сегодняшний день большая номенклатура деталей радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) обусловлена разнообразием их функционального назначения в системах бортовых приборов, используемых в авиационной, корабельной и космической промышленности. Детали РЭА представляет собой тонкостенные осесимметричные изделия, в конструкции которых, для выполнения ими функциональных задач, предусмотрены такие элементы, как пазы и отверстия малого размера, глухие отверстия, отверстия с резьбой. В процессе эксплуатации большинство деталей РЭА подвергаются значительным тепловым, статическим, динамическим, вибрационным нагрузкам и влиянию агрессивной окружающей среды.

Обеспечить предъявляемые высокие требования, касающиеся точности формы, размеров и качества поверхностного слоя возможно на основе совершенствования и разработки эффективных технологий их обработки [1, 2]. В решении указанных задач важное место отводится совершенствованию и развитию финишных методов обработки, представителем которых является отделочно-зачистная обработка, в процессе которой окончательно формируется поверхностный слой деталей, определяющий их эксплуатационные свойства.

В связи с этим разработка технологического процесса удаления заусенцев и подготовки поверхностей под нанесение покрытия деталей радиоэлектронной аппаратуры является актуальной научно-технической задачей.

## **2. Основное содержание и результаты работы**

В настоящее время в отечественной и мировой практике разработан относительно большой арсенал методов удаления заусенцев, использующих абразивные инструменты и среды, гибкие металлические инструменты, лезвийный инструмент, а также методы поверхностного пластического деформирования, ультразвуковую обработку, химические и электрохимические методы. Каждый метод характеризуется своими рациональными областями применения, преимуществами и недостатками [1, 3].

Однако, при всем многообразии способов удаления заусенцев, предпочтение отдаётся тем методам, которые основаны на использовании гибких обрабатывающих сред (объемная обработка). Это обусловлено тем, что гибкая рабочая среда (гибкий инструмент) с точки зрения формообразования является наиболее приемлемой, при этом одновременно принимающие участие в работе большое количество режущих элементов создает условия для высокой производительности [1-7].

Сравнительное исследование финишных операций технологического процесса с применением вибрационной и других существующих методов обработки выявил, что во многих случаях вибрационная обработка наиболее целесообразна и экономична, а также имеет ряд существенных преимуществ технического характера. К основным преимуществам ВиО можно отнести значительное снижение трудоёмкости и себестоимости процесса при обеспечении одновременной обработки всех поверхностей большого количества заготовок.

Особенности деталей РЭА (пазы и отверстия малых размеров, глубокие отверстия, глухие отверстия с резьбой, закрытые с одной или с двух сторон пазы, радиальные отверстия, малая жесткость) вызывают значительные проблемы на операциях отделочно-зачистной обработки. Вибрационная обработка деталей такого типа не нашла отражения в выполненных ранее исследованиях и требует необходимости дальнейшего изучения.

**Целью работы** является разработка методики расчета технологических параметров вибрационной отделочно-зачистной обработки деталей радиоэлектронной аппаратуры.

Для достижения поставленной цели рассмотрим процесс проектирования технологии вибрационной обработки природными средами на примере обработки деталей «Корпус», которые применяются в узлах приборов РЭА, изготавливаемых и ремонтируемых на ПАО «Завод Атлант», специализированном российском предприятии по разработке и производству электрических соединителей.

После операций формообразования у деталей «Корпус» образуются заусенцы, которые по условиям эксплуатации и требованиям отраслевого ОСТ 4ГО.070.014 не допускаются [6]. В настоящее время в технологическом процессе изготовления деталей «Корпус» на предприятии предусмотрена операция ручной зачистки заготовок.

Предлагается заменить операцию ручной зачистки заготовок на вибрационную отделочно-зачистную обработку с применением природной среды – дробленой скорлупы грецкого ореха.

На основании проведённых исследований разработана методика расчета технологических параметров вибрационной отделочно-зачистной обработки деталей РЭА, представленная в таблице 1.

Таблица 1. – Последовательность расчёта технологических параметров вибрационной обработки деталей РЭА

№	Содержание этапа	Расчётная зависимость	Расчетное значение
1	Анализ качества деталей РЭА	<p>Материал деталей:</p> <p><math>\sigma_s</math> - предел текучести материала детали, МПа;  <math>\rho_d</math> - плотность материала детали, кг/м<sup>3</sup>;  <math>Ra_{исх}</math> – исходная шероховатость, мкм;  <math>H_i</math> – высота заусенца, м;  <math>L_o</math> – толщина основания заусенца, м;  <math>m_d</math> – масса детали, кг;  <math>v_d</math> – объем детали, кг/м<sup>3</sup>;  <math>\rho_{н.о.д.}</math> - насыпная плотность деталей, кг/м<sup>3</sup>.</p>	<p><math>\sigma_s=155</math> МПа;  <math>\rho_d=2600</math>кг/м<sup>3</sup>;  <math>Ra=0,4</math> мкм;  <math>H_i=0,3-0,5</math> мм;  <math>L_o=0,2-0,3</math> мм.;  <math>m_d=8,6</math> гр.;  <math>V_d=1,47 \cdot 10^{-3}</math> дм<sup>3</sup>;  <math>\rho_{н.о.д.}=680</math>кг/м<sup>3</sup></p>
2	Постановка технологической задачи и критериев их обеспечения	<ul style="list-style-type: none"> <li>- отверстия и пазы в детали не требуют обработки; после удаления заусенцев должен быть обеспечен радиус скругления кромок и шероховатость обработанной поверхности, в пределах установленных КД;</li> <li>- отверстия и пазы в деталях требуют обработки;</li> <li>- производительность обработки.</li> </ul>	
3	Выбор технологического оборудования, обрабатывающей и активирующей среды	<p><u>Характеристики вибростанка:</u>                      Вид рабочей камеры:  <math>V_{р.к.}</math> – объем рабочей камеры станка, м<sup>3</sup>;  <math>L_{ст}</math> - высота рабочей камеры, м;  <math>L</math> - ширина рабочей камеры в сечении, м;  <math>f_V</math> – диапазон частоты колебаний, Гц;  <math>A</math> – диапазон амплитуды колебаний, м;  <u>Характеристики обрабатывающей среды:</u>                      Вид обрабатывающей среды;  <math>D_{оп.}</math> - диаметр описываемой окружности гранулы, мм;  <math>H_{гр.}</math> – толщина гранулы, мм;  <math>\beta</math> – угол при вершине клина гранулы, град;  <math>r_\beta</math> - радиус при вершине клина гранулы, м;  <math>\rho_{ср}</math> – насыпная плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  <u>Характеристики активирующей среды:</u>                      - вид активирующей среды;                      - размер гранул;                      - плотность гранул;                      - насыпная плотность среды.  <u>Массоразмерные соотношения:</u>  <math>K_r &gt; 1</math> - соотношение обрабатывающей среды</p>	<p><math>V_{р.к.} = 5</math> дм<sup>3</sup>;  <math>L_{ст} = 0,1</math> м;  <math>L = 0,5</math> м;  <math>f_V = 15-35</math> Гц;  <math>A = 0-4</math> мм;  <math>D_{оп.} = 3-6</math>, мм;  <math>H_{гр.} = 3-6</math>, мм;  <math>\beta = 30^0</math>.  <math>r_\beta = 0,15</math> мм;  <math>\rho_{ср} = 380</math>, г/м<sup>3</sup>;</p>

		и обрабатываемых деталей в общем объеме загрузки; $K_V$ - соотношение объемов обрабатываемой и активирующей сред в общем объеме загрузки	
4	Расчет предельно допустимого количества одновременно обрабатываемых деталей, шт.	$N_{o.d.} = \frac{2V_{p.k.} \rho_{n.o.d.}}{3v_d \rho_d (1 + K_r)}$	128
5	Масса загрузки обрабатываемой среды, кг	$M'_{o.c} = \frac{2V_{p.k.} K_r \rho_{1.c.}}{3(1 + K_r)(1 + K_V)}$	1,328
6	Масса загрузки активирующей среды, кг	$M'_{a.c} = \frac{2V_{p.k.} K_r K_V c_{2.c.}}{3(1 + K_r)(1 + K_V)}$	
7	Оценка возможности обеспечения циркуляционного движения	$A \frac{(2Apf)^2}{g L_{ct}} < 0,5, \quad \frac{L_{ct}}{L} \cong 1; \quad \frac{L_{ct}}{D_{оп}} > 6;$	
8	Определение комплексного коэффициента условий обработки	$M = \frac{c^2 k_\phi}{4pk_d (1 - f^2) ctg \beta \cdot tg \frac{\beta}{2}}$ при $\beta = 28^\circ, k_d \approx 2,75$	0,89
9	Оценка интенсивности обработки	$P_2 = 0,0494 + 0,053K_V - 0,32m_{cp} - 0,0041K_V m_a + 0,0017m_a$	
10	Время обработки (удаления заусенцев), с	$T = M \frac{D_{o.n.}^6 c_{ys}^3 \Delta B}{r_{\beta}^6 c_{cp}^3 A f_V P_2 \sqrt{1 - f^2}} (40k_d^2 A^2 f_V^2 \cos \beta + gL_{ct})^{-3}$	57,94
11	Расчет толщины слоя металла, снимаемого с открытых поверхностей детали за время, требуемое для удаления заусенца	$\Delta B = \frac{r_{\beta}^2 c_{cp} L_o H_i (1 - f^2)^{0,5}}{D_{o.n.}^3 c_{ys}} (40k_d^2 A^2 f_V^2 \cos \beta + gL_{ct})$	0,24
12	Условие годности обработанных деталей	$Ra_{иск} - \Delta B < [Ra_{imin}]$	
13	Производительность обработки, шт/с	$\Pi_p = \frac{N_{o.d.}}{T}$	0,035
14	Технологические параметры ВиО деталей РЭА	$A, f_V, T, N_{o.d.}, M_{o.c.}, M_{a.c.}$	

### 3. Общий алгоритм и рекомендации

Выполненные исследования позволили разработать общий алгоритм, включающий в себя ряд взаимообуславливающих функциональных блоков, реализующих процесс проектирования операций и разработку на этой основе наиболее рациональной технологии отделочно-зачистной обработки деталей с малыми пазами и отверстиями, обеспечивающей требуемое по условиям эксплуатации качество.

Рассмотрим основные задачи, решаемые функциональными блоками алгоритма проектирования технологии ВиО деталей (рис. 1).

1. Операторы 1, 2 осуществляют анализ и ввод исходных данных для проектирования, в качестве которых, выступают:

а) параметры, которые не меняются в процессе обработки: конструктивные параметры обрабатываемой детали: её геометрическое и размерное описание, материал и механические свойства, вес, размеры и форма заусенцев;

б) параметры, которые должны выбираться для реализации технологической задачи: условия проведения процесса (режимы обработки), тип оборудования, гранулометрические характеристики рабочей среды;

2. Оператор 3 определяет гранулометрические характеристики обрабатывающей среды по зависимостям (таблица 1);

3. Оператор 4 для выбранных условий виброобработки проводит проверку проникающей способности гранулы обрабатывающей среды. Проверка осуществляется по неравенствам, предложенным в таблице 1;

4. Оператор 5 устанавливает предельно допустимое количество деталей, загружаемых в рабочую камеру станка, а также массоразмерное соотношение загрузки (таблица 1);

5. Оператор 6 проводит расчет продолжительности вибрационной обработки до обеспечения заданных параметров качества поверхности (таблица 1) или фиксирует выбранное время обработки;

6. Оператор 7 проводит оценку изменения высоты микропрофиля поверхности детали за время удаления заусенцев;

7. Оператор 8 проводит сравнение допустимого условия, свидетельствующего о годности качества поверхности детали после ВиО. В случае, если условие не выполняется, то цикл обработки возвращается к оператору 2, осуществляющему варьирование изменяемых параметров (время обработки, амплитуда, частота);

8. Оператор 9 определяет производительность обработки (таблица 1);

9. Оператор 10 проводит сравнение расчетной производительности с заданной технологическими условиями изготовления детали. В случае, если значение производительности не соответствует, то цикл обработки возвращается к оператору 2, предлагающему применение комбинированной обрабатывающей среды для интенсификации процесса;

10. Оператор 11 производит выбор тех значений параметров обработки, при которых производительность будет максимальна;

11. Оператор 12 выводит на печать технологический регламент обработки детали на данной операции;

Представленный алгоритм позволяет обоснованно спроектировать рациональный технологический процесс виброобработки деталей РЭА с использованием САПР ТП.

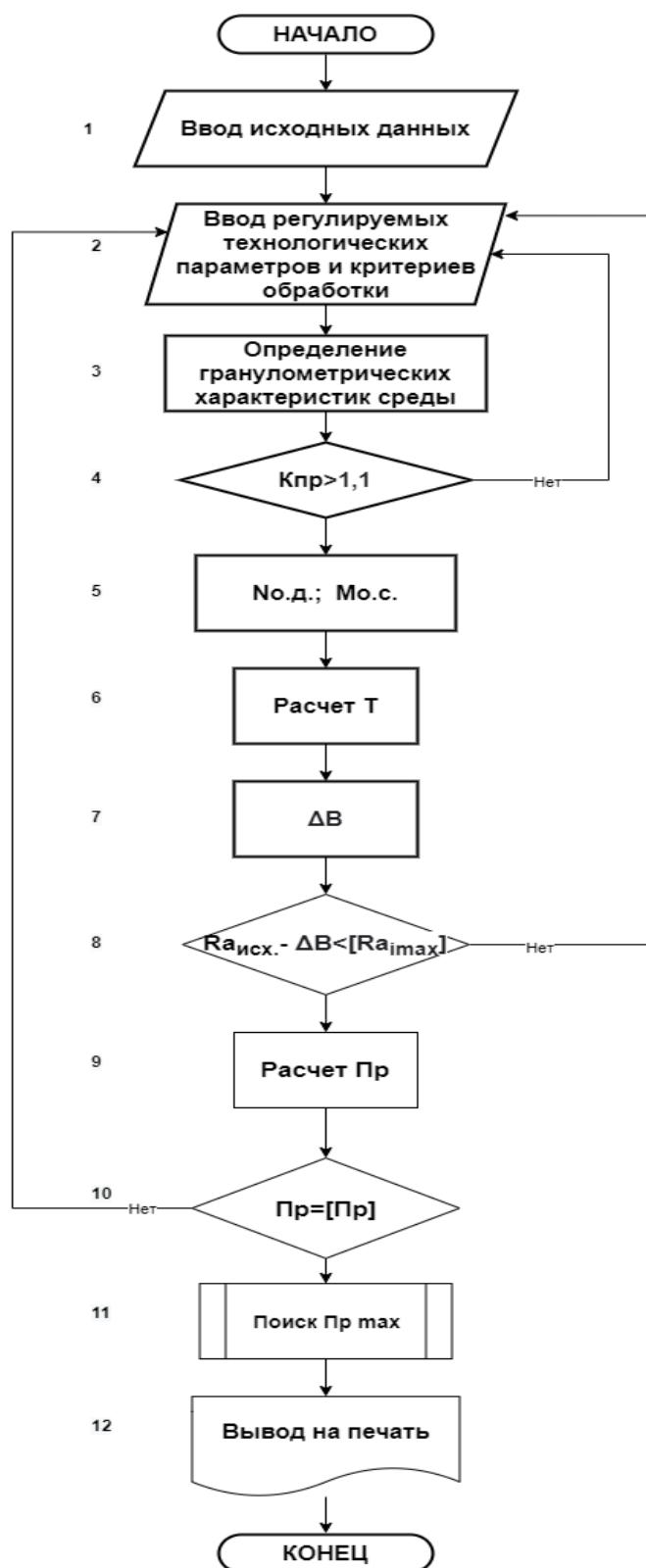


Рисунок 1. Алгоритм проектирования технологии ВиО деталей РЭА

#### 4. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили реализовать следующее:

1. Определить расчетные зависимости для определения массоразмерного соотношения компонентов комбинированной среды.
2. Разработать методику проектирования технологии виброотделки деталей с малыми отверстиями и пазами.
3. Разработать технологические рекомендации по практическому применению методики проектирования технологии виброотделки деталей с малыми отверстиями и пазами.

Результаты проведенных исследований и предложенные для практического применения технологические рекомендации отделочно-зачистной обработки деталей на основе комбинирования обрабатывающих сред позволяют повысить эффективность вибрационной обработки, а также завершить цикл отделки деталей путем доведения их качества до уровня, предусмотренного конструкторско-технологической документацией.

Внедрение виброобработки в гранулированных природных средах на примере деталей радиоэлектронной аппаратуры в условиях приборостроительного завода ПАО «Завод Атлант», г. Изобильный, позволило повысить производительность отделочно-зачистных операций в 5-10 раз и обеспечить заданное качество обработки.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Тамаркин, М. А. Повышение эффективности вибрационной обработки путем комбинирования обрабатывающих сред / М. А. Тамаркин, Е. Н. Колганова, Ю. В. Корольков, В. М. Троицкий // Научные технологии в машиностроении. – 2021. – № 6(120). – С. 12-17. – DOI 10.30987/2223-4608-2021-6-12-17. – EDN VTCTWS.
2. Тамаркин, М. А. Обоснование гранулометрических характеристик рабочей среды при вибрационной обработке деталей с малыми пазами и отверстиями / М. А. Тамаркин, Е. Н. Колганова, М. А. Ягмуров // Advanced Engineering Research. – 2020. – №20(4). – С. 382-389.
3. Бабичев, А. П. Основы вибрационной технологии / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. – Ростов н/Д: Изд. Центр ДГТУ, 1998 – 624 с.
4. Тамаркин, М. А. Эффективность применения гранулированных сред из природных материалов для виброотделки деталей радиоэлектронной аппаратуры / М. А. Тамаркин, Е. Н. Колганова, В. А. Лебедев, А. П. Шишкина // Воронежский научно-технический Вестник. – 2021. – Т. 4. – № 4(38). – С. 59-69. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-59-69. – EDN LTQYNQ.
5. Колганова, Е. Н. Технологическое обеспечение вибрационной обработки деталей, имеющих малые пазы и отверстия : дис. ... канд. техн. наук / Е. Н. Колганова: Ростов н/Д, 2022. – 169 с.
6. Отраслевой стандарт ОСТ 4 ГО.070.014. Детали радиоэлектронной аппаратуры. Общие технические условия.
7. Антонова, Н. М. Адгезия вибрационного механохимического твердосмазочного покрытия MoS<sub>2</sub>. / Н.М. Антонова, В. С. Шоркин, С. Н. Ромашин, А. П. Бабичев // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2019. – № 9. – С. 67-74. – DOI: 10.1134/S0207352819070023

Поступила в редколлегию 23.03.2022 г.