Научная статья
УДК 621.9

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛИ И ЧАСТИЦ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ПРОЦЕСС ВИБРАЦИОННОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

Э.С. Гордеева[1,*], В.Б. Богуцкий[1]

[1] Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия
[*]E-mail: ESGordeeva@sevsu.ru

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальной и теоретической оценки количественного взаимодействия частиц рабочей среды с поверхностью деталей различной формы в процессе отделочно-упрочняющей вибрационной обработки. Показано, что изменение формы поверхности детали при неизменной площади может в 2…3 раза изменить количество ударов на единицу площади поверхности. Предложена методика и получена общая формула позволяющая учитывать влияние формы обрабатываемой поверхности детали на число ударов по ней. Отмечается, что величина коэффициента учитывающего форму обрабатываемой поверхности зависит только от отношения радиусов частицы рабочей среды и кривизны детали.

Ключевые слова: *вибрационная отделочно-упрочняющей обработка; рабочая среда; форма деталей; количество ударов*; *поправочный коэффициент.*

Для цитирования: Гордеева Э.С., Богуцкий В.Б. Оценка влияния геометрических характеристик обрабатываемой детали и частиц рабочей среды на процесс вибрационной упрочняющей обработки // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2024. Т.10, №1. С. 76–85.

Original article

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE PROCESSED DETAIL AND THE PARTICLES OF THE WORKING MEDIUM ON THE PROCESS OF VIBRATION HARDENING

E.S. Gordeeva[1,*], V.B. Bogutsky[1]

[1]Sevastopol State University, Sevastopol, Russia
[*]E-mail: ESGordeeva@sevsu.ru

Abstract. In article presents the results of an experimental and theoretical assessment of the quantitative interaction of particles of the working medium with the surface of details of various shapes in the process of finishing and strengthening vibration treatment. It is shown that changing the shape of the surface of a detail with a constant area can change the number of impacts per unit surface area 2…3 times. A technique is proposed and a general formula is obtained that allows taking into account the influence of the shape of the workpiece surface on the number of impacts on it. It is noted that the value of the coefficient taking into account the shape of the treated surface depends only on the ratio of the radii of the particle of the working medium and the curvature of the detail.

© Гордеева Э.С., Богуцкий В.Б. 2024

Key words: *vibration finishing and strengthening treatment; working medium; shape of the details; quantity of impacts; correction coefficient.*

For citation: Gordeeva E.S., Bogutsky V.B. Evaluation of the influence of the geometric characteristics of the processed detail and the particles of the working medium on the process of vibration hardening. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2024. V. 10. No.1, pp. 76–85.

Введение

В современном производстве при выполнении финишных операций, важное место занимают методы вибрационной отделочно-упрочняющей обработки. Широкий спектр технологических возможностей, высокая эффективность и экономичность позволяют отнести эти методы к числу перспективных методов отделочной обработки. Главной целью процесса является формирование в поверхностном слое детали сжимающих напряжений, локализация вредного воздействия поверхностных микродефектов, а также снижение исходной шероховатости и формирование благоприятной структуры микронеровностей. Результатом процесса является повышение усталостной, коррозионной и контактной прочности, существенно увеличивающее ресурс. Неоспоримым преимуществом виброударного упрочнения является возможность выполнения процесса для литых деталей с наличием внутренних полостей, обработка которых иными методами упрочнения может быть затруднительна, или невозможна (корпуса насосов, редукторов, турбины и т.п.) [1-5] и др. Вместе с тем, объем научных работ, осуществленных в рамках изучения процессов вибрационной отделочно-упрочняющей обработки, существенно ниже соответствующих работ в области виброабразивной обработки. Технологические возможности этих процессов являются недостаточно исследованными, что существенно ограничивает их использование и замедляет внедрение в машино- и приборостроении. Для оценки технологических эффектов вибрационной обработки и последующего прогнозирования оптимальных режимов необходимо знать закономерности количественного взаимодействия частиц рабочей среды и детали.

Оценка количественного взаимодействия частиц рабочей среды с поверхностью обрабатываемых деталей различной формы

Для решения поставленной задачи предварительно были выполнены натурные исследования процесса взаимодействия частиц рабочей среды, с контрольными участками поверхности обрабатываемых деталей. Для регистрации количества ударов и момента времени удара частиц рабочей среды по участку поверхности детали с заданными формой и размерами, использовались специальные датчики (комбинированное устройство из двух чувствительных элементов).

Результаты исследований показали, что удары по контрольному участку поверхности располагаются сериями из нескольких ударов, следующих один за другим с частотой колебаний рабочей камеры. Количество ударов в серии зависит от режимов вибрационной обработки и составляет от 3 до15 ударов. На основной удар в серии наложены микроудары, сила которых на порядок ниже. Такие закономерности в распределении ударов подтверждают предположение, что за одно колебание вибрационной камеры каждая из окружающих деталь частиц рабочей среды взаимодействуют с её поверхностью один раз [6, 7]. Это взаимодействие представляет собой основной удар, определяющий технологический эффект, и случайную совокупность слабых микроударов, причём влияние этих микроударов на процесс обработки несущественно.

Отмеченные особенности в расположении основных ударов говорят о том, что количество ударов по поверхности детали прямо пропорционально количеству колебаний рабочей камеры и числу соприкасающихся с деталью частиц рабочей среды. Так как количество колебаний рабочей камеры равно произведению продолжительности обработки на частоту

колебаний, то количество ударов по поверхности детали прямо пропорционально числу соприкасающихся с деталью частиц рабочей среды, частоте колебаний и продолжительности обработки.

$$n = N\nu \cdot t, \tag{1}$$

где n – количество ударов по детали; N – число окружающих частиц рабочей среды; ν – частота колебаний рабочей камеры; t – продолжительность обработки.

Наиболее простой способ определения теоретического количества частиц, окружающих деталь, основан на предположении, что каждая частица обрабатывает определённую площадь, зависящую только от размеров частиц [1, 7-9 и др.]. Например, при вибрационной обработке в шарах одинакового размера каждый шар обрабатывает правильный шестиугольник, имеющий площадь

$$S = 2\sqrt{3r^2}, \tag{2}$$

где S – площадь, обрабатываемая одним шаром; r – радиус шара.

Существенным недостатком данного подхода является то, что он не явно предполагает плоскую поверхность обрабатываемой детали, так как выражение (2) справедливо только для плоской поверхности. С удовлетворительной для практики точностью поверхность детали можно считать плоской, если радиус кривизны обрабатываемой детали достаточно велик и составляет от 35…50 и более радиусов частиц рабочей среды.

Это условие выполняется крайне редко. Экспериментальные исследования показали, что изменением формы детали-датчика при неизменной площади его регистрирующей поверхности может в 2…3 раза изменить количество ударов по единице площади поверхности, если кривизна поверхности датчика в 3…5 раз больше радиуса кривизны поверхности частицы рабочей среды.

Учесть влияние формы обрабатываемой детали на число ударов по её поверхности, можно определив объем пространства, в котором могут находиться шары, непосредственно контактирующие с деталью, и объем, занимаемый одним шаром при однослойной упаковке. Тогда количество шаров, окружающих деталь

$$N = \frac{V_1}{V_2}, \tag{3}$$

где V_1 – объём, в котором могут находиться шары, касающиеся детали; V_2 – объём, занимаемый одним шаром.

Объём, занимаемый одним шаром при однослойной упаковке:

$$V_2 = 4\sqrt{3r^3}, \tag{4}$$

где r – радиус шара.

В этом случае количество частиц рабочей среды, окружающих деталь, для каждой конкретной формы приходится определять отдельно. Зная количество шаров, окружающих деталь, частоту колебаний рабочей камеры и продолжительность обработки, можно по формуле (1) определить количество ударов по всей поверхности деталей за время вибрационной обработки.

Применим предложенную методику для расчета количества ударов по единице поверхности деталей со сферической, цилиндрической или плоской поверхностью (участком поверхности).

Многие авторы [5, 6, 10, 11 и др.] отмечают, что обработка сферических деталей происходит более интенсивно по сравнению с деталями цилиндрической или плоской форм. Однако конкретных количественных закономерностей не приводят.

Определим количество ударов по единице поверхности детали сферической формы в рабочей среде, состоящей из шаров одинакового радиуса. Естественно, полученные результаты будут применимы и для отдельных элементов деталей, имеющих сферическую форму.

Объём, в котором могут находиться шары, контактирующие с деталью формы и радиусом R (рис. 1), равен разности между объемом шара с радиусом $R + 2r$ и объемом детали:

$$V_1 = V_3 - V_4, \tag{5}$$

где V_4 – объём детали; V_3 – объём шара радиусом $R+2r$.

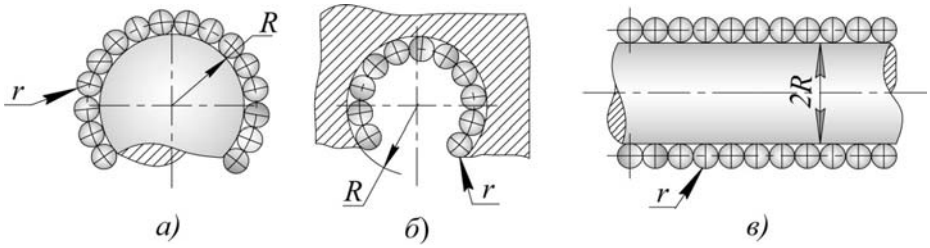


Рисунок 1 – Расположение частиц рабочей среды (шаров): *а* – на сферической (цилиндрической) поверхности; *б* – на сферической (цилиндрической) поверхности отрицательной кривизны; *в* – по длине на боковой поверхности цилиндра.

После преобразований получим

$$V_1 = 8\pi \cdot r\left(R^2 + 2Rr + \frac{4}{3}r^2 \right), \tag{6}$$

Используя выражения (3), (4) и (6), определяем, что количество шаров, окружающее сферическую деталь,

$$N_1 = \frac{2\pi\left(R^2 + 2Rr + \frac{4}{3}r^2 \right)}{\sqrt{3r^2}}, \tag{7}$$

где N_1 – количество шаров.

Найдём количество ударов по поверхности сферической формы за время обработки t, подставив в выражение (1) выражение (7)

$$n_1 = 2\pi \cdot \nu \cdot t \cdot \frac{R^2 + 2R \cdot r + \frac{4}{3}r^2}{\sqrt{3}}, \tag{8}$$

где n – количество ударов частиц рабочей среды по детали.

Так как поверхность сферической детали равна $S_{сф} = 4\pi \cdot R^2$, то по единице площади сферической детали за время обработки t будет нанесено количество ударов, определяемое по формуле

$$m = \nu \cdot t \frac{1 + 2\frac{r}{R} + \frac{4}{3} \cdot \frac{r^2}{R^2}}{2\sqrt{3r^2}}, \quad (9)$$

где m – количество ударов частиц рабочей среды по единице поверхности сферической детали.

Одной из наиболее распространённых форм отдельных участков деталей машин и механизмов является цилиндрическая форма поверхности. Установлено, что цилиндрические участки поверхности обрабатываются хуже сферических, но лучше плоских участков [2-5, 11, 12 и др.]. Определим количество ударов по единице поверхности цилиндрического участка деталей при вибрационной обработке.

Для цилиндрической поверхности положительной кривизны объём, в котором могут находиться шары, контактирующие с боковой поверхностью,

$$V_5 = V_6 - V_7, \quad (10)$$

где V_5 – объём, в котором могут находиться шары, соприкасающиеся с боковой поверхностью цилиндра; V_6 – объём цилиндра радиусом $R + 2r$; V_7 – объём детали.

Пусть длина цилиндра l, тогда объем, в котором находятся шары, контактирующие с боковой поверхностью цилиндра

$$V_5 = 4\pi \cdot R \cdot l \cdot r\left(1 + \frac{r}{R}\right), \quad (11)$$

где R – радиус детали; l – длина детали.

Количество шаров, окружающих боковую поверхность цилиндрической детали можно рассчитать как

$$N_2 = \pi \cdot R \cdot l \frac{1 + \frac{r}{R}}{\sqrt{3r^2}}, \quad (12)$$

Так как боковая поверхность цилиндра равна $S_ц = 2\pi \cdot R \cdot l_4$ то количество ударов нанесенных по единице площади обрабатываемой детали будет равно

$$m_1 = \nu \cdot t \frac{1 + \frac{r}{R}}{2\sqrt{3r^2}}, \quad (13)$$

Формула (13) получена из предположения, что деталь имеет форму цилиндра, но справедлива и для отдельных участков детали, имеющих цилиндрическую форму.

В случае вибрационной обработки шарами одинакового радиуса плоского участка поверхности детали вычисления упрощаются. Выберем плоский участок произвольной формы площадью S_1. Объем слоя, в котором могут находиться шары, соприкасающиеся с этим участком, пропорционален его площади и определяется следующим образом:

$$V_8 = 2S_1 r, \quad (14)$$

Разделив этот объем на объем, занимаемый одним шаром при однослойной упаковке, получим количество шаров, контактирующих с плоской поверхностью:

$$N_3 = \frac{S_1}{2\sqrt{3r^2}}, \tag{15}$$

Подставим количество шаров, соприкасающихся с плоской поверхностью, в формулу (1) получим количество ударов частиц рабочей среды по этой поверхности за время вибрационной обработки n_2:

$$n_2 = \frac{\nu \cdot t \cdot S_1}{2\sqrt{3r^2}}, \tag{16}$$

В таком случае количество ударов частиц рабочей среды по единице плоской поверхности

$$m_2 = \frac{\nu t}{2\sqrt{3r^2}}, \tag{17}$$

На практике часто приходится обрабатывать детали, имеющие участки отрицательной кривизны. Рассмотрим процесс вибрационной обработки сферической поверхности в рабочей среде, состоящий из шаров одинакового радиуса. По аналогии с выпуклой сферической и цилиндрической поверхности определим объём, в котором могут находиться частицы рабочей среды, соприкасающиеся со сферической поверхностью отрицательной кривизны. Этот объём представляет собой разность между объемом сферической полости радиусом R и объёмом сферы радиусом $R-2r$.

$$V_9 = V_{10} - V_{11}, \tag{18}$$

где V_9 – объём, в котором могут находиться частицы рабочей среды; V_{10} – объём сферической полости; V_{11} – объём сферы радиусом $R-2r$.

После подстановки соответствующих значений объёмов и преобразований получим

$$V_9 = 8\pi \cdot R^2 r\left(1 - 2\frac{r}{R} + \frac{4}{3}\cdot\frac{r^2}{R^2}\right), \tag{19}$$

где R – радиус отрицательной кривизны детали.

Из выражений (5), (6) и (10) следует, что с внутренней поверхностью сферической полости контактирует количество шаров N_4, определяемое по формуле

$$N_4 = 2\pi \cdot R^2 \frac{1 - 2\frac{r}{R} + \frac{4}{3}\frac{r^2}{R^2}}{\sqrt{3r^2}}, \tag{20}$$

Подставив количество шаров, контактирующих с вогнутой сферической поверхностью, в формулу (1), получим, что по этой поверхности за время обработки будет нанесено n_3 ударов:

$$n_3 = 2\pi \cdot R^2 \nu \cdot t \frac{1 - 2\frac{r}{R} + \frac{4}{3} \cdot \frac{r^2}{R^2}}{2\sqrt{3r^2}} \tag{21}$$

Учитывая, что вогнутая поверхность сферической детали равна $S_{сф.вог} = 4\pi \cdot R^2$, определим количество ударов частиц рабочей среды по единичному участку поверхности:

$$m_2 = \nu \cdot t \frac{1 - 2\frac{r}{R} + \frac{4}{3} \cdot \frac{r^2}{R^2}}{\sqrt{3r^2}}, \tag{22}$$

Полученная формула справедлива и в том случае, если имеются отдельные углубления сферической формы.

Рассмотрим процесс вибрационной обработки детали, имеющий цилиндрическую полость радиусом R и длиной l. Объем, в котором могут находиться частицы рабочей среды, соприкасающиеся со стенками полости, равен разности между объемом цилиндрической поверхности радиусом R и длиной l и объемом цилиндра той же длины и радиусом $R - 2r$.

$$V_{12} = V_{13} - V_{14}, \tag{23}$$

где V_{12} – объем, в котором могут находиться частицы рабочей среды; V_{13} – объем цилиндрической полости; V_{14} – объем цилиндра радиусом $R - 2r$.

Подставив в выражение (23) значения объемов, и сделав преобразования, получим

$$V_{12} = 4\pi \cdot r \cdot l(R - r) \tag{24}$$

Разделив объем, в котором могут находиться частицы рабочей среды, непосредственно соприкасающиеся с деталью, на объем, занимаемый одним шаром получим количество шаров, контактирующих с вогнутой цилиндрической поверхностью:

$$N_5 = \pi \cdot l \frac{R - r}{\sqrt{3r^2}} \tag{25}$$

Таким образом, количество ударов по всей поверхности

$$n_4 = \pi \cdot l \cdot \nu \cdot t \frac{R - r}{\sqrt{3r^2}}, \tag{26}$$

а количество ударов частиц рабочей среды по единичному участку этой поверхности

$$m_3 = \nu \cdot t \frac{1 - \frac{r}{R}}{2\sqrt{3r^2}} \tag{27}$$

Формулы (22) и (27) справедливы в случае, если $R - 2r > 0$. Их точность возрастает с убыванием параметра r/R. В предельном случае, когда радиус кривизны обрабатываемой детали много больше радиуса частиц рабочей среды, эти формулы незначительно отличаются от формулы (17).

Из приведённого выше можно сделать вывод, что форма детали при вибрационной обработке существенно не влияет на процесс, если радиус кривизны обрабатываемой детали значительно больше радиуса частиц рабочей среды.

Рассмотренная методика позволяет предложить общую формулу для расчета количества ударов по единице поверхности деталей различной формы m_4:

$$m_4 = \frac{k}{2\sqrt{3r^2}}, \qquad (28)$$

где k – коэффициент, учитывающий форму обрабатываемой поверхности и соотношение радиусов кривизны поверхностей детали и частицы рабочей среды. Зависимости для расчета коэффициентов k приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимости для расчета коэффициента учитывающего форму обрабатываемой поверхности и соотношение радиусов кривизны обрабатываемой поверхности детали и размеров частиц рабочей среды

Форма поверхности	Коэффициент k
Сферическая с положительным (+) или отрицательным (-) радиусом кривизны	$k = 1 \pm 2\frac{r}{R} + \frac{4}{3}\cdot\frac{r^2}{R^2}.$ (29)
Цилиндрическая с положительным (+) или отрицательным (-) радиусом кривизны	$k = 1 \pm \frac{r}{R}.$ (30)
Плоская	$k=1$

Из формул (29) и (30) следует, что величина коэффициента k зависит только от отношения радиусов частицы рабочей среды и кривизны детали. Эти зависимости показаны на рис. 2 для интервала изменения отношения $\frac{r}{R}$ от 0 до 1, что соответствует распространенному на практике случаю, когда радиус кривизны детали больше радиуса кривизны частицы рабочей среды. Для детали сферической формы величина коэффициента изменяется от 1 до 3…4. При обработке вогнутой цилиндрической поверхности значение коэффициента уменьшается от 0,8 до 0,5. Следовательно, форма обрабатываемой детали весьма существенно влияет на процесс вибрационной обработки.

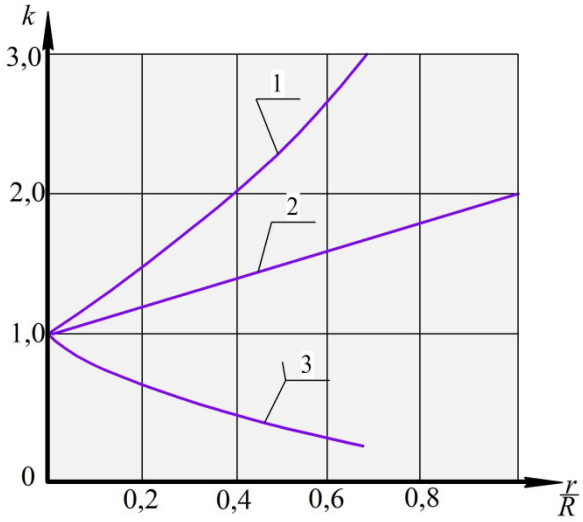


Рисунок 2 - Зависимость величины поправочного коэффициента k от отношения r/R для различной формы обрабатываемой поверхности: 1 – выпуклая сферическая поверхность; 2 – выпуклая цилиндрическая поверхность; 3 – сферическая полость.

Заключение

Предложенный метод расчета количества ударов по единице поверхности деталей и коэффициента учитывающего форму, размеры обрабатываемой поверхности и размеры частиц рабочей среды можно достаточно просто применить для поверхности детали произвольной формы без существенных усложнений расчетов, а его точность повысить, выбрав соответствующий объем, занимаемый шаром при однослойной упаковке для конкретной формы детали.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2008. 694 с.

2. Канивец А.В. Вибрационная обработка при изготовлении и восстановлении деталей // Технологический аудит и резервы производства. 2013. № 5/4(13). С. 60-61.

3. Davis Joseph R. Surface hardening of steels. Publ.: ASM International, 2002. 371 p.

4. Картышев Б.Н. Технологические возможности объёмной вибрационной обработки // Вестник машиностроения. 1969. №4. С. 69-72.

5. Елисеев А.В., Копылов Ю.Р. Особенности технической реализации технологии вибрационного упрочнения // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 12-2. С. 152-155.

6. Попов М.Е., Попов А.М., Эль Дакдуки А. Математическое моделирование соударения тел рабочей среды и обрабатываемых деталей при виброволновой обработке // Упрочняющие технологии и покрытия. 2018. Т. 14. № 2 (158). С.66-70.

7. Копылов Ю.Р. Динамика процессов виброударного упрочнения: монография. Воронеж: Научная книга, 2011. 568 с.

8. Djema M., Hamouda K., Babichev A.P., Saidi D., Halimi D. The impact of mechanical vibration on the hardening of metallic surface // Advanced Materials Research. 2012. Vol. 626, pp. 90-94. DOI: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.626.90.

9. Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Мордовцев А.А., Коханюк А.Г. Исследование вибрационной обработки наружных и внутренних поверхностей деталей при их подготовке под нанесение покрытия // Упрочняющие технологии и покрытия. 2021.Т. 17. № 1 (193). С. 22-26.

10. Nurakov S., Tulembayeva A., Merzadinova G., Shugayev M. Analysis of modern methods for preparing parts in surface engineering technologies // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. 2020. Vol. 8. No. 10, pp. 702-707.

11. Borovets V., Lanets O., Korendiy V., Dmyterko P. Volumetric vibration treatment of machine parts fixed in rotary devices //Advanced Manufacturing Processes II. 2021, pp.373-383 DOI:10.1007/978-3-030-68014-5_37.

12. Tamarkin M., Tishchenko E., Murugova E.Technological design processes of vibration processing of particularly accurate parts of agricultural machinery // E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don. 2021. С. 07032.

REFERENCES

1. Babichev A.P., Babichev I.A. *Osnovy vibracionnoj tekhnologii*. [Fundamentals of vibration technology]. Rostov-on-Don: DGTU Publ., 2008. 694 p.

2. Kanivec A.V. *Vibracionnaya obrabotka pri izgotovlenii i vosstanovlenii detalej* [Vibration treatment in the manufacture and restoration of parts] *Tekhnologicheskij audit i rezervy proizvodstva*. 2013. No. 5/4(13), pp. 60-61.

3. Davis Joseph R. Surface hardening of steels. Publ.: ASM International, 2002. 371 p.

4. Kartyshev B.N. *Tekhnologicheskie vozmozhnosti ob"yomnoj vibracionnoj obrabotki* [Technological possibilities of volumetric vibration treatment]. *Vestnik mashinostroeniya*. 1969. No.4, pp. 69-72.

5. Eliseev A.V., Kopylov Y.R. *Osobennosti tekhnicheskoj realizacii tekhnologii vibracionnogo uprochneniya* [Features of the technical implementation of vibration hardening technology]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2014. No. 12-2, pp. 152-155.

6. Popov M.E., Popov A.M., El' Dakduki A. *Matematicheskoe modelirovanie soudareniya tel rabochej sredy i obrabatyvaemyh detalej pri vibrovolnovoj obrabotke* [Mathematical modeling of the collision of the bodies of the working medium and the machined parts during vibro-wave processing]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*. 2018. Vol. 14, No. 2 (158), pp.66-70.

7. Kopylov Y.R. *Dinamika processov vibroudarnogo uprochneniya: monografiya*. [Dynamics of vibration shock hardening processes: monograph]. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2011. 568 p.

8. Djema M., Hamouda K., Babichev A.P., Saidi D., Halimi D. The impact of mechanical vibration on the hardening of metallic surface. Advanced Materials Research. 2012. Vol. 626, pp. 90-94. DOI: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.626.90.

9. Tamarkin M.A., Tishchenko E.E., Mordovcev A.A., Kohanyuk A.G. *Issledovanie vibracionnoj obrabotki naruzhnyh i vnutrennih poverhnostej detalej pri ih podgotovke pod nanesenie pokrytiya* [Investigation of vibration treatment of external and internal surfaces of parts during their preparation for coating]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*. 2021.Vol. 17. No. 1 (193), pp. 22-26.

10. Nurakov S., Tulembayeva A., Merzadinova G., Shugayev M. Analysis of modern methods for preparing parts in surface engineering technologies. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. 2020. Vol. 8. №. 10. C. 702-707.

11. Borovets V., Lanets O., Korendiy V., Dmyterko P. Volumetric vibration treatment of machine parts fixed in rotary devices. Advanced Manufacturing Processes II. 2021, pp.373-383 DOI:10.1007/978-3-030-68014-5_37.

12. Tamarkin M., Tishchenko E., Murugova E. Technological design processes of vibration processing of particularly accurate parts of agricultural machinery. E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don. 2021. C. 07032.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гордеева Элеонора Сергеевна – старший преподаватель, Севастопольский государственный университет (299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, 33 e-mail: ESGordeeva@sevsu.ru)

Богуцкий Владимир Борисович – кандидат технических наук, доцент, Севастопольский государственный университет (299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, 33 e-mail: VBBogutskiy@sevsu.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gordeeva Eleonora Sergeevna– Senior Lecturer (Eng.), Sevastopol State University (299053, Russia, Sevastopol, Universitetskaya str., 33 e-mail: ESGordeeva@sevsu.ru)

Bogutsky Vladimir Borisovich – Ph.D. (Eng), Assoc. Prof., Sevastopol State University ((299053, Russia, Sevastopol, Universitetskaya str., 33, e-mail: VBBogutskiy@sevsu.ru).

Статья поступила в редакцию 10.01.2024; одобрена после рецензирования 21.01.2024, принята к публикации 27.02.2024.
The article was submitted 10.01.2024; approved after reviewing 21.01.2024; accepted for publication 27.02.2024.