

DOI: [10.34220/2311-8873-2024-20-31](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2024-20-31)



УДК 621.9

UDC 621.8

2.5.6 – технология машиностроения

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ
ДЕТАЛЕЙ ЭКСЦЕНТРИКОВЫМ
ОСЦИЛЛИРУЮЩИМ
УПРОЧНИТЕЛЕМ**

**PROCESS DESIGN OF PARTS
TREATMENT WITH ECCENTRIC
OSCILLATING REINFORCING AGENT**

Тамаркин Михаил Аркадьевич,
д.т.н., заведующий кафедрой «Технология машиностроения», Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: tehn_rostov@mail.ru

Tamarkin Mikhail Arkadievich,
doctor of technical sciences, head of the department of Mechanical engineering technology, Don state technical university, Rostov-on-Don, e-mail: tehn_rostov@mail.ru

✉¹ **Тищенко Элина Эдуардовна,**
к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения», Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: lina_tishenko@mail.ru

✉¹ **Tishchenko Elina Eduardovna,**
candidate of technical sciences, associate professor of the department of Mechanical engineering technology, Don state technical university, Rostov-on-Don, e-mail: lina_tishenko@mail.ru

Хашаш Омар С.А.,
аспирант кафедры «Технология машиностроения», Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: omar-hashash@mail.ru

Hashash Omar S.A.,
postgraduate student of the department of Mechanical engineering technology, Don state technical university, Rostov-on-Don, e-mail: omar-hashash@mail.ru

Тищенко Роман Геннадьевич,
магистрант кафедры «Технология машиностроения», Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: tishenkoroma@icloud.com

Tishchenko Roman Gennadievich,
master's student of the department of Mechanical engineering Technology, Don state technical university, Rostov-on-Don, e-mail: tishenkoroma@icloud.com

Аннотация. В статье представлены результаты исследования процесса обработки деталей эксцентриковым осциллирующим упрочнителем. Рассмотрены область применения и конструктивные особенности устройства. Приведены результаты теоретических исследований процесса обработки. Определены зависимости для расчета скорости удара индентора и кинетической энергии инструментальной головки с индентором при ударном взаимодействии. Исследованы параметры поверхностного слоя, оказывающие наибольшее влияние на повышение эксплуатационных

Annotation. The article presents the results of the study of the process of processing parts with eccentric oscillating strengthening. The scope of application and design features of the device are considered. The results of theoretical studies of the treatment process are given. Dependences are defined for calculation of indenter impact speed and kinetic energy of tool head with indenter at impact interaction. The parameters of the surface layer, which have the greatest impact on improving the operational properties of machine parts (depth of the hardened layer, degree of deformation, surface roughness), were studied. The developed

свойств деталей машин (глубина упрочненного слоя, степень деформации, шероховатость поверхности). Разработанные теоретические зависимости подтверждаются результатами экспериментальных исследований процесса обработки. Рассчитано время обработки для поверхностей различного типа, которые подвергались обработке. Указанные зависимости положены в основу методики инженерных расчетов высокоэффективных технологических процессов поверхностного пластического деформирования осциллирующим эксцентриковым инструментом. Результаты исследований использованы для дополнения расчетных модулей системы автоматизированного проектирования методов обработки динамическими методами поверхностного пластического деформирования, используемой на современных машиностроительных предприятиях в условиях цифрового производства.

Ключевые слова: ЭКЦЕНТРИКОВЫЙ ОСЦИЛЛИРУЮЩИЙ УПРОЧНИТЕЛЬ, КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ, ВРЕМЯ ОБРАБОТКИ.

theoretical dependencies are confirmed by the results of experimental studies of the processing process. The treatment time is calculated for different types of surfaces that have been treated. Said dependencies form the basis of engineering calculations of highly efficient processes of surface plastic deformation by oscillating eccentric tools. The research results were used to supplement the computational modules of the computer-aided design system of processing methods for dynamic methods of surface plastic deformation used at modern machine-building enterprises in digital production.

Keywords: ECCENTRIC OSCILLATING HARDENER, OVERLAY QUALITY, MACHINING TIME.

¹ Автор для ведения переписки

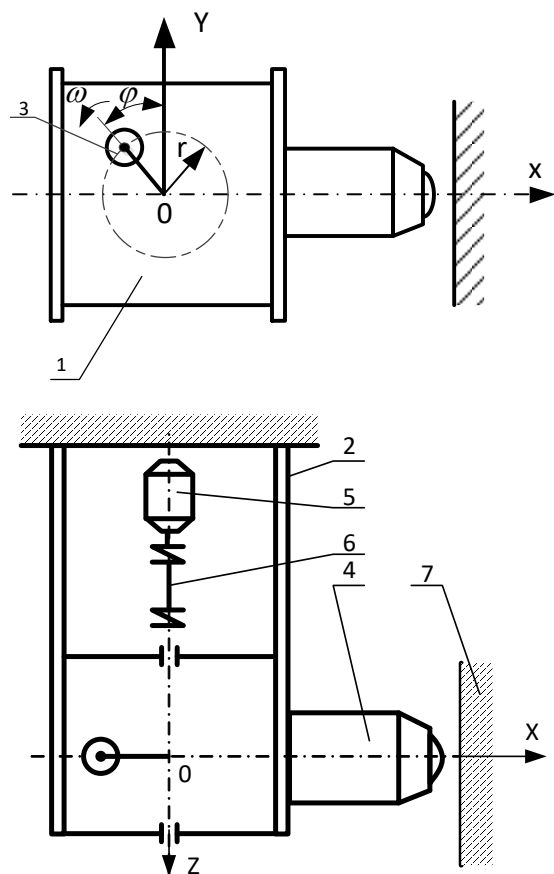
1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Среди многообразия современных методов финишной обработки ответственных деталей машин можно выделить особую группу финишной обработки методами поверхностного пластического деформирования (ППД), использование которых во многих случаях позволяет значительно улучшить эксплуатационные свойства обработанных деталей без увеличения их массы, а также во многих случаях исключить дорогостоящую термическую обработку [1-15]. Важную роль в повышенном внимании к этим методам обработки играют их широкие технологические возможности, простота используемого оборудования, сравнительно низкая стоимость.

Метод обработки ППД осциллирующим эксцентриковым инструментом занимает особое место среди подобных технологий, позволяющих локализовать обработку, а не выполнять её во всем объеме детали. Он позволяет выполнять высокоэффективную обработку как простых по форме поверхностей, типа плоскостей и тел вращения, так и более сложных фасонных поверхностей, поверхностей крупногабаритных деталей в местах, являющихся концентраторами напряжений, сварных швов и др. [1,2,5-8]. На рис. 1 представлена кинематическая схема эксцентрикового упрочнителя, состоящего из вибрирующей корпуса 1, подвешенного на плоских пружинах 2. Колебания вибрирующего корпуса 1, действующие нормально к обрабатываемой поверхности возбуждаются вращением эксцентриковой массы (дебаланса) 3 вокруг вертикальной оси.

Эксцентриковая масса 3 с закрепленной на ней инструментальной головкой получает вращательное движение от электродвигателя. При этом гибкий вал 6 позволяет осуществлять свободное перемещение инструментальной головки 4 в радиальном направлении. На инструментальной головке 4 установлен индентор (обычно шарик или ролик), который осуществляет

ударное взаимодействие с поверхностью обрабатываемой детали 7. При этом поверхность детали является своеобразным ограничителем перемещения индентора, а характер их взаимодействия зависит от их предварительного сближения в радиальном направлении. Влияние этого смещения в дальнейшем рассматривается в виде изменений коэффициента полезного действия технологической системы.



1 – корпус; 2 – плоская пружина; 3 – эксцентриковая масса; 4 – инструментальная головка; 5 – электродвигатель; 6 – гибкий вал; 7 – ограничитель (обрабатываемая деталь)

Рисунок 1 – Схема эксцентрикового упрочнителя

По сравнению с объемной обработкой ППД, местное упрочнение значительно снижает затраты на обработку, так как позволяет избежать применения крупногабаритного дорогостоящего оборудования, рабочих сред, не требует применения смазывающе-охлаждающих технологических жидкостей [5-8,13-14].

2 Материалы и методы

Для промышленного использования осциллирующего эксцентрикового упрочнителя необходимо провести исследования влияния конструктивных и технологических параметров процесса на параметры качества поверхностного слоя. Это позволит проектировать рациональные технологические процессы поверхностного упрочнения ответственных деталей машин.

Анализ работ ведущих ученых в области ППД [1-13] показывает необходимость определения таких параметров поверхностного слоя, как шероховатость обработанной поверхности, степень деформации, глубина упрочненного слоя, которые оказывают существенное влияние на длительность жизненного цикла обработанных деталей. Указанные параметры определяются частотой и энергией ударных взаимодействий одного или нескольких инденторов с обрабатываемой поверхностью. Существенное влияние на повышение эксплуатационных свойств обработанных деталей оказывают также физико-механические свойства обрабатываемых деталей (твердость и микротвердость, предел текучести, коэффициент несущей способности контактной поверхности, относительное сужение и т.п.).

Анализ механизма воздействия колебательной системы устройства на обрабатываемую деталь вызывает необходимость учета таких технологических параметров процесса обработки, как скорость вращения, размеры и масса эксцентрика; число инденторов на инструментальной головке; форма и размеры инденторов (радиус сферической заточки при использовании шарика и радиус скругления при использовании ролика); размер и жесткость плоских пружин; коэффициент полезного действия устройства, который зависит от величины сближения индентора с поверхностью детали.

Произведён теоретический анализ динамики эксцентрикового устройства и процессов, происходящих при обработке осциллирующим инструментом. Получены зависимости для определения скорости удара индентора V_x и кинетической энергии инструментальной головки с индентором T при ударном взаимодействии [1, 2, 5-8].

$$V_x = \frac{m_{cam} r \omega^3}{\sqrt{(c - \omega^2 m_c)^2 + \omega^2 \mu^2}}, \quad (1)$$

$$T = \frac{m_c V_x^2}{2} = \frac{m_c m_{cam}^2 r^2 \omega^6}{2[(c - \omega^2 m_c)^2 + \omega^2 \mu^2]}, \quad (2)$$

где m_{cam} – масса инструментальной головки; r – расстояние от оси вращения эксцентрика до его центра тяжести; ω – угловая скорость; c – жёсткость пружины, m_c – масса вибрирующей системы; μ – сопротивление среды.

Механизм процесса обработки динамическими методами ППД достаточно подробно представлен в работах профессора И.В. Кудрявцева [5, 15]. Учитывая произведенный им анализ для метода обработки эксцентриковым упрочнителем можно предложить следующую зависимость для определения диаметра пластического отпечатка индентора:

$$d = \sqrt[4]{\frac{D_i \cdot T \cdot \eta}{M \cdot HD}}, \quad (3)$$

При этом глубина (h) пластического отпечатка может быть определена как

$$h = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{T \cdot \eta}{M \cdot D_i \cdot HD}}, \quad (4)$$

где T – кинетическая энергия инструментальной головки (индентора), HD – динамическая твердость материала детали (отношение энергии удара сферического индентора к объему вытесненного материала при ударе). Динамическую твердость можно определить из соотношения $HD = 6,1 HB^{1,12}$, где HB – твердость материала по Бринеллю. D_i – диаметр индентора, η – коэффициент полезного действия устройства (зависит от натяга), M – число инденторов.

Как при большинстве динамических методов обработки ППД, высотные параметры шероховатости обработанной поверхности изменяются по экспоненциальной зависимости от времени обработки $Ra(t)$. Параметры установившейся шероховатости зависят от размеров единичных отпечатков инденторов и их количества на единице площади обработки, т.е. полностью определяются режимами обработки ППД и не зависят от исходной шероховатости. Следует отметить, что исходная шероховатость оказывает существенное влияние на время достижения установившейся шероховатости. С использованием методики Королева А. В. [1] и учитывая вышеуказанные особенности

процесса можно записать зависимость для определения установившейся шероховатости поверхности при обработке эксцентриковым упрочнителем в следующем виде [1, 3, 4, 9-12]:

$$Ra = 0,0075 \sqrt{\frac{T \cdot \eta}{D_i \cdot M \cdot HD}} . \quad (5)$$

На основании вышеизложенного разработаны теоретические зависимости для определения глубины упрочненного слоя и степени деформации при обработке эксцентриковым упрочнителем [1, 3, 4, 9-12]:

$$\varepsilon = 1,134 \sqrt[4]{\frac{T \cdot \eta}{D_i^3 \cdot M \cdot HD}} ; \quad (6)$$

$$h_n = \sqrt[8]{\left(\frac{T \cdot \eta}{D_i \cdot M \cdot HD}\right)^3 \cdot D_i^2} . \quad (7)$$

Для проектирования рациональных технологических процессов осциллирующим инструментом необходимо разработать методику расчета времени обработки деталей. В процессе обработки поверхностный слой детали должен быть покрыт перекрывающимися отпечатками индентора определенное число раз. Согласно рекомендациям профессора Кудрявцева И.В. [15], каждый микрообъем поверхностного слоя должен быть пластически деформирован определенное число раз. Это число зависит от физико-механических свойств поверхностного слоя обрабатываемых деталей и, как правило, находится в пределах 10-20 ударов, деформирующих локальный микрообъем обрабатываемой поверхности.

Время обработки плоской и близкой к ней поверхности детали можно определить по зависимости [1]:

$$t = \frac{A \cdot B}{S_{np} \cdot S_{non}} , \quad (8)$$

где A – длина участка, B – ширина участка, S_{np} - продольная подача (м/с), S_{non} - поперечная подача (м / дв. ход как при плоском шлифовании).

Время обработки цилиндрической поверхности можно определить по формуле:

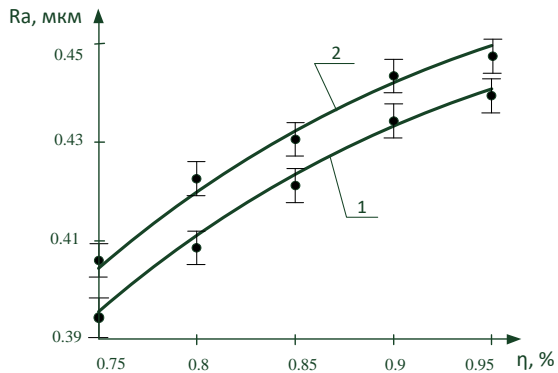
$$t = \frac{L_{dem}}{S_o} , \quad (9)$$

где L_{dem} – длина обрабатываемого участка детали, S_o – осевая минутная подача.

3 Результаты исследований

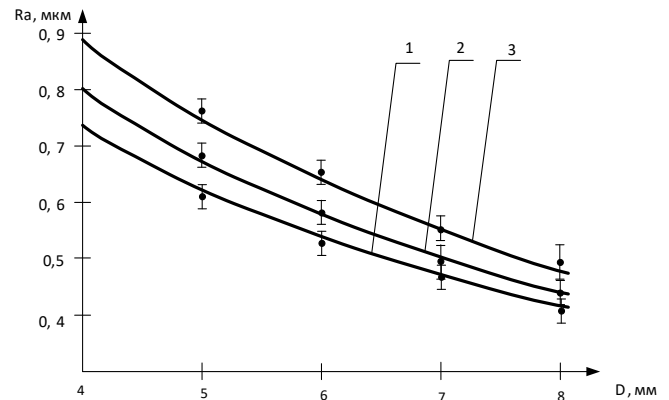
Для проверки адекватности предложенных теоретических моделей по определению шероховатости поверхности, глубины упрочненного слоя и степени деформации проведен комплекс исследований влияния основных технологических факторов на показатели качества поверхностного слоя.

Сравнение результатов, полученных при теоретических расчетах с результатами экспериментальных исследований приведены на рис. 2-7. Сплошными линиями представлены результаты теоретических расчетов. Точками показаны результаты данные экспериментов. Приведены графики экспериментов для одного шарикового индентора. Построены доверительные интервалы с доверительной вероятностью 95 %.



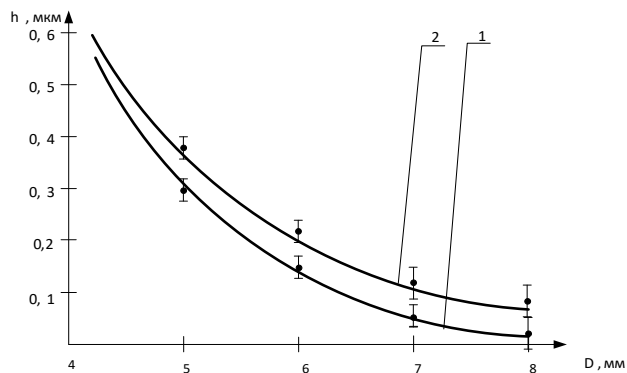
1 – материал образца ХВГ,
2 – материал образца сталь 45

Рисунок 2 – Зависимость шероховатости поверхности от коэффициента полезного действия устройства



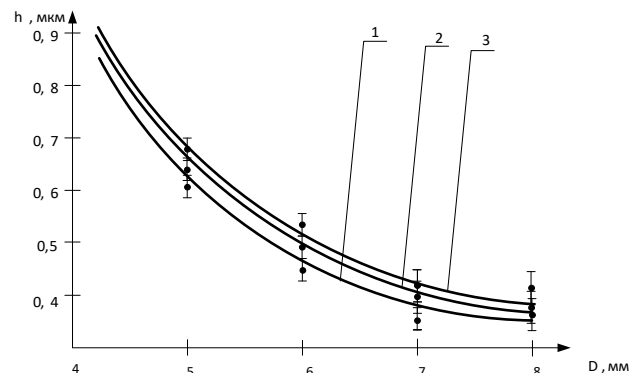
1 – материал образца Д16, 2 – материал образца АВТ, 3 – материал образца АЛ1

Рисунок 3 – Зависимость шероховатости поверхности от диаметра индентора



1 – материал образца сталь 30ХГСА,
2 – материал образца сталь 30.

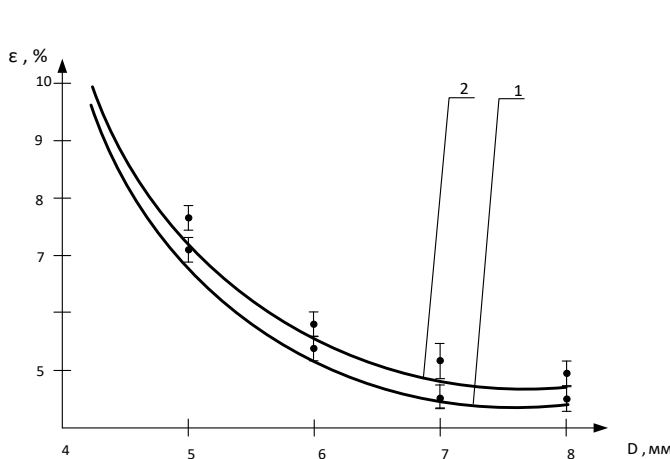
Рисунок 4 – Зависимость глубины упрочненного слоя от диаметра индентора



1 – материал образца АЛ1, 2 – материал образца АВТ, 3 – материал образца Д16

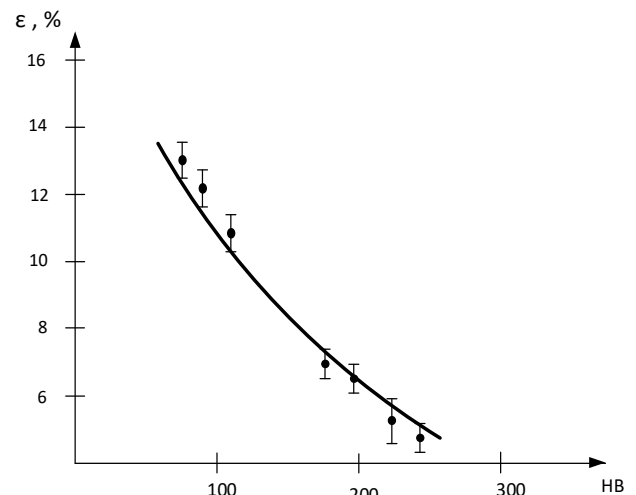
Рисунок 5 – Зависимость глубины упрочненного слоя от диаметра индентора

Разность величины параметров, рассчитанных по теоретическим зависимостям и полученных в результате экспериментальных исследований, не превышает 15-20 %. [1,3,4,9-12]. На основании результатов комплексных исследований можно сделать вывод об адекватности предложенных зависимостей.



1 – материал образца ХВГ, 2 – материал образца сталь 45

Рисунок 6 – Зависимость степени деформации от диаметра индентора



Диаметр индентора 6 мм

Рисунок 7 – Зависимость степени деформации от твердости детали по Бринеллю.

4 Обсуждение и заключение

Технологические возможности методов обработки осциллирующим эксцентриковым упрочнителем позволяют охарактеризовать его как высокоэффективный метод общего и местного упрочнения ответственных деталей машин. Разработанная теоретическая модель динамики этого метода обработки позволяет рассчитывать энергию удара индентора, оказывающую наибольшее влияние на результат обработки.

Полученные теоретические зависимости, подтвержденные результатами экспериментов, могут быть использованы для инженерных расчетов технологических процессов высокоэффективной обработки ППД деталей машин, имеющих фасонную поверхность с небольшими перепадами высот. Согласно общепринятой теории оптимизации при расчете и выборе вариантов сочетаний технологических параметров в качестве критерия оптимизации принимается себестоимость либо производительность обработки, а в качестве ограничительных функций – обеспечиваемая шероховатость поверхности и параметры упрочнения (глубина упрочненного слоя и степень деформации).

Таким образом, рассматриваемый в данной статье новый метод обработки деталей осциллирующим эксцентриковым упрочнителем может быть успешно применен в промышленных условиях.

Список литературы

- 1 Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Хашаш О.С. Формирование качества поверхностного слоя при отделочно-упрочняющей обработке деталей эксцентриковым упрочнителем. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don)*. 2023;23(2):130-139. <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2023-23-2-130-139>
- 2 Попов, М. Е. Виброударные и виброволновые методы упрочняющей и стабилизирующей обработки деталей горных машин / Хашаш О. С. А., Моргун Д. Ю. // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. - 2017. - № 6. - С. 107-112.
- 3 Тамаркин, М.А. Оптимизация процесса упрочняющей обработки деталей осциллирующим инструментом / Тищенко Э.Э., Хашаш Омар С.А., Тищенко Р.Г. // *Вестник БГТУ*, №5, 2023 г. С. 26 -38
- 4 Tamarkin M., Tishchenko E., Murugova E., Melnikov A. Surface quality assurance and process reliability in the processing with a ball-rod hardener / *E3S Web Conf.* - 2020. - Vol. 175. - Article Number 05008.
- 5 Попов, М. Е. Моделирование движения и столкновений рабочих тел и обрабатываемых деталей при виброударной и виброволновой обработке / М.Е. Попов, А.М. Попов, О. Хашаш // *Перспективные направления развития финишных методов обработки деталей; виброволновые технологии: сб.*

тр. по материалам Междунар. симпозиума технологов-машиностроителей, Ростов-на-Дону, 14-17 сент. 2016 г. / Дон. гос. техн. ун-т. - Ростов н/Д.: ДГТУ, 2016. - С. 37-41.

6 Попов, М.Е. Микронеровности поверхностей при обработке деталей резанием и методом ППД осциллирующим инструментом / М.Е. Попов, О. Хашаш, А.С. Макаров // Металлообрабатывающие комплексы и робототехнические системы - перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов: сб. науч. ст. II Междунар. науч.-техн. конф., Курск, 17-18 июня 2016 г. / Юго-Западный гос. ун-т. - Курск: ЮЗГУ, 2016. - Т. 2. - С. 106-110.

7 Попов, М. Е. Анализ динамики взаимодействия рабочих тел и обрабатываемых деталей при виброударной обработке / М.Е. Попов, А.М. Попов, О. Хашаш // Металлообрабатывающие комплексы и робототехнические системы - перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов: сб. науч. ст. II Междунар. науч.-техн. конф., Курск, 17-18 июня 2016 г. / Юго-Западный гос. ун-т. - Курск: ЮЗГУ, 2016. - Т. 2. - С. 114-118.

8 Автоматизация выбора материала и технологии упрочняющей обработки деталей в САПР / М.Е. Попов, А.М. Попов, О. Хашаш, Е.В. Кореев // Проблемы и перспективы развития машиностроения: сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию Липецкого государственного технического университета, Липецк, 16-17 нояб. 2016 г. – Липецк: ЛГТУ, 2016. - С. 210-215.

9 Формирование параметров упрочнения при отделочно-упрочняющей обработке деталей осциллирующим инструментом / М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, Омар С.А. Хашаш, А.С. Букреева // Перспективные направления развития отделочно-упрочняющих и виброволновых технологий: сб. тр. науч. семинара, посвящ. памяти заслуженного деятеля науки и техники РФ, д-ра техн. наук, почетного проф. ДГТУ А. П. Бабицева / Дон. гос. техн. ун-т. - Ростов н/Д.: ДГТУ, 2023. - С. 134-141.

10 Исследования процесса формирования шероховатости поверхности при отделочно-упрочняющей обработке деталей осциллирующим инструментом / М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, Р.Г. Тищенко, Омар С.А. Хашаш // Современные тенденции развития инструментальных систем и металлообрабатывающих комплексов: сб. тр. науч.-техн. конф., посвящ. памяти заслуженного деятеля науки и техники Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А. А. Рыжкина, Ростов-на-Дону, 20 янв. 2023 г. / Дон. гос. техн. ун-т. - Ростов н/Д.: ДГТУ, 2023. - С. 125-131.

11 Формирование параметров качества поверхности при отделочно-упрочняющей обработке деталей осциллирующим инструментом / М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, Р.Г. Тищенко, Омар С.А. Хашаш // Машиностроительные технологические системы: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., Ростов-на-Дону, 26-30 сент. 2023 г. / Дон. гос. техн. ун-т. - Ростов н/Д.: ДГТУ, 2023. - С. 185-192.

12 Tamarkin M., Tishchenko E., Astashkin A. Quality surface forming during parts strengthening-finishing treatment with oscillatory tool/ International Scientific Conference Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East. (AFE-2023). pp 1303–1312.

13 Beskopylnyi A.N., Meskhi B.Ch., Beskopylny N., Chukarina I.M., Isaev A., Veremeenko A. Strengthening of welded joints of load-bearing structures of robotic systems with ball-rod hardening/ В сборнике: Robotics, Machinery and Engineering Technology for Precision Agriculture. Proceedings of XIV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2021". Сер. "Smart Innovation, Systems and Technologies" Singapore, 2022. С. 1-12.

14 Beskopylny A., Meskhi B., Veremeenko A., Isaev A. Influence of boundary conditions on the strengthening technology of a welded joint with a ball-rod hardener /В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. "International Scientific and Practical Conference Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering, ERSME 2020" 2020. С. 012047.

15 Кудрявцев И.В. и др. Повышение прочности и долговечности крупных деталей машин поверхностным наклепом. М. НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970, - 144с.

References

1 Tamarkin M.A., Tishchenko E.E., Khashash O.S. Formation of the quality of the surface layer during finishing and strengthening processing of parts with an eccentric hardener. Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2023;23(2):130-139. <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2023-23-2-130-139>

2 Popov, M. E. Vibro-shock and vibration-wave methods for strengthening and stabilizing processing of mining machine parts / Khashash O. S. A., Morgunov D. Yu. // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). - 2017. - No. 6. - P. 107-112.

- 3 Tamarkin, M.A. Optimization of the process of hardening processing of parts with an oscillating tool / Tishchenko E.E., Khashash Omar S.A., Tishchenko R.G. // Bulletin of BSTU, No. 5, 2023, pp. 26 -38
- 4 Tamarkin M., Tishchenko E., Murugova E., Melnikov A. Surface quality assurance and process reliability in the processing with a ball-rod hardener / E3S Web Conf. - 2020. - Vol. 175. - Article Number 05008.
- 5 Popov, M.E. Modeling the movement and collisions of working bodies and workpieces during vibration-impact and vibration-wave processing / M.E. Popov, A.M. Popov, O. Khashash // Promising directions for the development of finishing methods for processing parts; Vibrowave technologies: collection of articles. tr. based on materials from the International Symposium of mechanical engineering technologists, Rostov-on-Don, September 14-17. 2016 / Don. state tech. univ. - Rostov n/d.: DSTU, 2016. - pp. 37-41.
- 6 Popov, M.E. Microroughness of surfaces when processing parts by cutting and the SPD method with an oscillating tool / M.E. Popov, O. Khashash, A.S. Makarov // Metal-working complexes and robotic systems - promising directions of research activities of young scientists and specialists: collection. scientific Art. II Int. scientific-technical conf., Kursk, June 17-18, 2016 / South-West State. univ. - Kursk: South-West State University, 2016. - Т. 2. - P. 106-110.
- 7 Popov, M.E. Analysis of the dynamics of interaction between working bodies and workpieces during vibration-impact processing / M.E. Popov, A.M. Popov, O. Khashash // Metalworking complexes and robotic systems - promising areas of research activity of young scientists and specialists: collection. scientific Art. II Int. scientific-technical conf., Kursk, June 17-18, 2016 / South-West State. univ. - Kursk: South-West State University, 2016. - Т. 2. - P. 114-118.
- 8 Automation of material selection and technology for strengthening processing of parts in CAD / M.E. Popov, A.M. Popov, O. Khashash, E.V. Koreev // Problems and prospects for the development of mechanical engineering: collection of articles. scientific tr. international scientific-technical conf., dedicated 60th anniversary of Lipetsk State Technical University, Lipetsk, November 16-17. 2016 – Lipetsk: Leningrad State Technical University, 2016. - pp. 210-215.
- 9 Formation of hardening parameters during finishing and hardening processing of parts with an oscillating tool / M.A. Tamarkin, E.E. Tishchenko, Omar S.A. Khashash, A.S. Bukreeva // Promising directions for the development of finishing-hardening and vibration-wave technologies: coll. tr. scientific seminar dedicated to in memory of the Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Dr. Tech. Sciences, honorary prof. DSTU A.P. Babicheva / Don. state tech. univ. - Rostov n/d.: DSTU, 2023. - P. 134-141.
- 10 Research of the process of formation of surface roughness during finishing and hardening processing of parts with an oscillating tool / M.A. Tamarkin, E.E. Tishchenko, R.G. Tishchenko, Omar S.A. Khashash // Modern trends in the development of tool systems and metalworking complexes: collection of articles. tr. scientific-technical conf., dedicated in memory of the Honored Worker of Science and Technology of Russia. Federation, Doctor of Engineering. sciences, prof. A. A. Ryzhkina, Rostov-on-Don, January 20. 2023 / Don. state tech. univ. - Rostov n/d.: DSTU, 2023. - P. 125-131.
- 11 Formation of surface quality parameters during finishing and hardening processing of parts with an oscillating tool / M.A. Tamarkin, E.E. Tishchenko, R.G. Tishchenko, Omar S.A. Khashash // Machine-building technological systems: collection. tr. Intl. scientific-technical Conf., Rostov-on-Don, September 26-30. 2023 / Don. state tech. univ. - Rostov n/d.: DSTU, 2023. - P. 185-192.
- 12 Tamarkin M., Tishchenko E., Astashkin A. Quality surface forming during parts strength-ening-finishing treatment with oscillatory tool/ International Scientific Conference Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East. (AFE-2023). pp. 1303–1312.
- 13 Beskopylnyi A.N., Meskhi B.Ch., Beskopylny N., Chukarina I.M., Isaev A., Veremeenko A. Strengthening of welded joints of load-bearing structures of robotic systems with ball-rod hardening/ In the collection: Robotics, Machinery and Engineering Technology for Precision Agriculture. Proceedings of XIV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2021”. Ser. "Smart Innovation, Systems and Technologies" Singapore, 2022. pp. 1-12.
- 14 Beskopylny A., Meskhi B., Veremeenko A., Isaev A. Influence of boundary conditions on the strengthening technology of a welded joint with a ball-rod hardener / In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Ser. "International Scientific and Practical Conference En-vironm.
- 15 Kudryavtsev I.V. etc. Increasing the strength and durability of large machine parts by surface peening. M. NIINFORMTYAZHMASH, 1970, - 144s.