

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 621.923.9
doi: 10.30987/2782-5957-2022-6-21-29

ОЦЕНИВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Алексей Александрович Мордовцев^{1✉}

¹ Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
¹ mordovtsev_aa@mail.ru, ORCID 0000-0002-9333-2076

Аннотация

Цель исследования – оценка надежности технологической системы технологического процесса виброабразивной обработки в цифровом производстве. Задачи, решению которой посвящена статья – рассмотрение важности автоматизации технологической подготовки производства, возможности применения виброабразивной обработки в цифровом производстве, вопросы обеспечения надежности в безлюдном цифровом производстве. Методы исследования – математическое моделирование влияния величины допуска и разброса технологических параметров 5-15% (амплитуда, частота, радиус описанной окружности абразивной гранулы) на надежность вибрационной обработки в среде абразива. Новизна работы – проведение и анализ

результатов исследований по обеспечению надежности технологических систем технологических процессов виброабразивной обработки, в результате которых получены зависимости коэффициента запаса точности от величины допуска и разброса технологических параметров на шероховатость и толщину снимаемого слоя; даны рекомендации по проектированию технологических процессов обеспечивающие его надежность. Вывод: полученные результаты позволят на этапе проектирования оценить надежность технологического процесса виброабразивной обработки.

Ключевые слова: производство, надежность, процесс, обработка, съем, материал, поверхность, слой, шероховатость.

Ссылка для цитирования:

Мордовцев А.А. Оценка надежности технологического процесса виброабразивной обработки в условиях Цифрового производства / А.А. Мордовцев // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 6. – С. 21–29. doi: 10.30987/2782-5957-2022-6-21-29.

Original article
Open Access Article

RELIABILITY ASSESSMENT OF THE MANUFACTURING PROCESS OF VIBRO-ABRASIVE TREATMENT IN THE CONDITIONS OF DIGITAL PRODUCTION

Aleksey Aleksandrovich Mordovtsev^{1✉}

¹ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
¹ mordovtsev_aa@mail.ru, ORCID 0000-0002-9333-2076

Abstract

The study objective is to assess the reliability of the technological system of the manufacturing process of vibro-abrasive treatment in digital production. The problems to which the paper is devoted are consideration of the importance to automate production preparation, the possibility of using vibro-abrasive treatment in digital production, issues of ensuring reliability in unmanned digital production. Research methods are mathematical modeling of the effect of the tolerance

value and parameters spread of 5-15% (amplitude, frequency, radius of the circumscribed circle of the abrasive granule) on the reliability of vibration treatment in the abrasive medium. The novelty of the work is the conduct of the research and analysis of its results in order to ensure the reliability of technological systems of manufacturing processes of vibration-abrasive treatment, which result in getting the dependences of the accuracy margin coefficient on the tolerance value

and the parameters spread on the roughness and thickness of the removed layer; recommendations on the design of manufacturing processes ensuring its reliability are given. Conclusion: the results obtained will al-

Reference for citing:

Mordovtsev AA. Reliability assessment of the manufacturing process of vibro-abrasive treatment in the conditions of digital production. *Transport Engineering*. 2022;6:21–29. doi: 10.30987/2782-5957-2022-6-21-29.

Введение

Машиностроение – одна из важнейших отраслей, которая снабжает техникой другие отрасли. В современном мире информационные технологии стали неотъемлемой частью жизнедеятельности человека. Интеграция этих технологий в машиностроительное производство, на сегодняшний день, создает предпосылки для повышения эффективности технологической подготовки производства. Преимуществами цифровых технологий является: сокращение времени технологической подготовки производства, сокращение времени проектирования машины, сокращение затрат на производство, повышение гибкости производства.

Концепция Индустрии 4.0 изначально появилась в Германии, где ее называют «*Industrie 4.0*». Главный принцип этой концепции – активное внедрение цифровых технологий в производственный процесс. Эта смена производственных процессов и технологий основана на следующих ключевых принципах: [1]

- оборудование, оснащенное датчиками, способное собирать данные о процессах, происходящих при обработке;

- индустриальный интернет вещей. Объединенная сеть, включающая в себя все оборудование для обмена информацией на производстве;

- облачные сервисы, предоставляющие возможности компьютерных вычислений как интернет-сервис;

- интеграционные платформы, задача которых - принимать данные от оборудования и анализировать их;

- *Big Data* (большие данные, обработанные вычислительной машиной и представленной для доступа человеку).

Основным преимуществом «Цифрового производства» является возможность производить продукцию с индивидуаль-

low to assess the reliability of the manufacturing process of vibration-abrasive treatment at the design stage.

Key words: production, reliability, process, treatment, removal, material, surface, layer, roughness.

ными характеристиками. Отличительным преимуществом «Цифрового производства» является высокая степень автоматизации при безлюдном производстве. Безлюдное производство означает роботизированные цеха и участки, где все виды работ выполняют роботы, а не люди. Появление гибких производственных систем (ГПС) и роботов привело к интенсификации технологической подготовки производства, повышение эффективности технологических процессов механической обработки и сборочных работ.

Не менее важным фактором является надежность технологической системы (ТС) технологических процессов (ТП) в безлюдном производстве. Большую часть оборудования функционирует без участия человека с использованием датчиков и интернета вещей. Эта технология позволяет в реальном времени отслеживать работу станка, выявлять повреждения и отказы и своевременно их устранять, тем самым повышая коэффициент использования оборудования.

В процессе обработки изнашиваются рабочие среды, которые являются источником систематических переменных погрешностей. Зависимость износа рабочих сред от времени обработки получены в работе [2], пользуясь этими зависимостями можно определить, когда необходимо заменить рабочую среду. Разброс частоты и амплитуды при обработке является причиной случайной погрешности. Для контроля случайных погрешностей разработана система адаптивного управления, которая будет осуществлять контроль и подналадку технологических режимов во время обработки. Эти погрешности в значительной мере влияют на надежность ТС ТП в безлюдном производстве при обработке особо точных изделий (кавалитет ниже 8, 9), так

как при большом разбросе технологических параметров, требуемая точность изделия не будет получена, а при отсутствии оператора, контроль технологических параметров должен осуществляться при помощи датчиков и интернета-вещей.

При проектировании технологического процесса механической обработки деталей необходимо достичь требуемого качества с минимальными затратами. Отделочной обработке подвергаются изделия высокой точности. Одним из перспективных методов отделочной обработки деталей сложной конфигурации является обработка в гранулированных средах. Вибрационная обработка имеет ряд преимуществ, благодаря которым может использоваться в «Цифровом производстве». К этим преимуществам относится простота конструкции оборудования, возможность обрабатывать детали различных форм, размеров и конфигурации, что очень важно в современном гибком производстве, высокая степень автоматизации, так как детали загружаются в рабочую камеру без

базирования и закрепления, возможность обрабатывать большое количество деталей одновременно. Для сепарации деталей от рабочих гранул применяются магнитные барабаны, а в случае, если деталь является немагнитной автоматически ситовые разгрузочные устройства.

Виброабразивная обработка (ВиАО) внедрена на многих производствах благодаря своим широким технологическим возможностям, низкой стоимости, а также высокой производительности. В процессе обработки детали и абразивные гранулы занимают различное положение, которое обеспечивает равномерную обработку всех поверхностей. В результате абразивного изнашивания поверхности происходит съём мельчайших частиц металла. Непрерывная подача технологической жидкости обеспечивает удаление продуктов износа, а также препятствует возникновению коррозии. Обработанные поверхности обладают высокими показателями качества без микротрещин и структурных изменений. Схема обработки представлена на рис. 1.

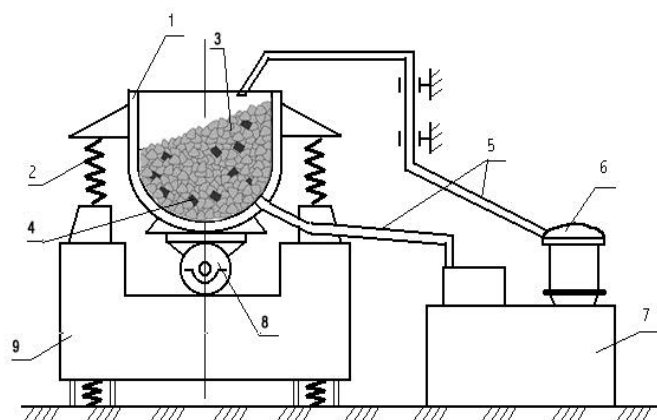


Рис. 1. Схема процесса виброабразивной обработки
1 – рабочая камера; 2 – пружины; 3 – абразивные гранулы;
4 – обрабатываемые детали; 5 – шланги; 6 – насос;
7 – емкость для слива; 8 – эксцентрик; 9 – станина

Fig. 1. Vibroabrasive process scheme

*1 – bowl; 2 - springs; 3 – abrasive media; 4 - workpieces;
5 - hoses for supplying and draining cutting fluid;
6 - pump; 7 - settling tank; 8 – eccentric weight; 9 – bed*

Виброабразивной обработке посвящено множество работ исследователей таких как Бабичев А.П., Тамаркин М.А., Шевцов С.Н., Димов Ю.В. Копылов Ю.Р. Получены математические модели для определения количества удаляемого мате-

риала при единичном цикле взаимодействия абразивной гранулы с поверхностью обрабатываемого материала, среднеарифметического отклонения профиля поверхности, следа отпечатка при взаимодействии гранулы с поверхностью детали. По-

дробно проработаны вопросы влияния режимов обработки, геометрических параметров обрабатывающих сред, наполненность камеры, угол встречи абразивных гранул с обрабатываемой поверхностью, механических свойств материала детали на процесс обработки.

Надежность вибрационной отделочно-упрочняющей обработки в среде сталь-

Теоретическая часть

Надежность ТС и ТП – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования ГОСТ 27.002-2015 [4]. ГОСТ 27.202-83 регламентирует алгоритм оценивания надежности путем расчета коэффициентов: запаса точности $K_z(\tau)$, мгновенного рассеивания $K_p(\tau)$, смещения $K_{см}(\tau)$, точности K_t . Для обеспечения надежности технологического процесса должно выполняться условие $K_z(\tau) > 0$ [5].

В качестве объекта исследования был выбран технологический процесс вибрационной обработки в среде абразива. Для расчета параметров надежности необходимо учесть полученную нестабильность показателей качества. Для оптимизации технологического процесса в качестве целевой функции можно принять время обработки t , а ограничительной функцией являются шероховатость поверхности Ra и (или) толщина снимаемого слоя h .

Процесс удаления материала при виброабразивной обработке описывается единичным взаимодействием абразивной гранулы с поверхностью детали и количе-

ных шаров изучалась в работе Гребенкина Р.В [3]. Несмотря на многочисленные исследования надежность вибрационной обработки в среде абразива не изучалась.

Целью данного исследования является: оценить надежность технологической системы (ТС) технологического процесса виброабразивной обработки.

ством этих взаимодействий за промежуток времени. Максимальная глубина внедрения абразивной гранулы [6]:

$$h_{\max} = 2V_{\text{эф}} R \sin \beta \sqrt{\frac{\rho_q}{3k_R c \sigma_s}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{эф}}$ – эффективная скорость движения абразивной гранулы; R – характерный размер абразивной гранулы равной радиусу описанной окружности; β – угол соударения абразивной гранулы с поверхностью детали; ρ_q – плотность материала гранулы; c – коэффициент, оценивающий несущую способность контактной поверхности; σ_s – предел текучести материала детали; k_R – коэффициент, учитывающий влияние зернистости абразивной гранулы на фактическую площадь контакта

Эффективная скорость движения абразивной гранулы может быть определена по следующей зависимости:

$$V_{\text{эф}} = k_m V_0 = k_m k_v A \omega \quad (3)$$

где A – амплитуда, ω – частота колебаний, k_v – коэффициент потери скорости при удалении гранулы от стенки рабочей камеры, k_m – коэффициент отражает явление увеличения энергии удара абразивной гранулы за счет взаимодействия с соседними гранулами

$$k_R = \sqrt[3]{\frac{48 \rho_q}{c \sigma_s} \left(\frac{k_p V_{\text{эф}} \sin \beta \chi Y(\alpha) (1 - \varepsilon_s) \bar{x}}{\alpha^2 (\bar{x}^2 + 3\sigma^2)} \right)^2} \quad (4)$$

где k_p – коэффициент, учитывающий количество режущих зерен; χ – доля, занимаемая абразивными зёрнами в единице объема гранулы; α – коэффициент формы зерна; $Y(\alpha)$ – функция, зависящая от α ; ε_s – коэффициент, учитывающий заделку зерен в связке; σ – среднеквадратичное отклонение размера зерен, \bar{x} – средний размер абразив-

ных зёрен, который зависит от зернистости и определяется по формуле:

$$\bar{x} = 10,6 N_3 \quad (5)$$

где N_3 – зернистость по ГОСТ 3647-80.

След единичного взаимодействия представляет собой эллипсоид с полуосями [6]:

$$b = \sqrt{R^2 - (R - h_{\max})^2}, \quad a = \frac{\pi}{2} (\operatorname{ctg} \beta - f) h_{\max} + b, \quad (6)$$

где f - коэффициент пропорциональности. Тамиркиным М.А. [6] была предложена зависимость для определения съема

материала с поверхности детали при единичном взаимодействии

$$q = 15,5 k_c \frac{1}{k_R^{3/4}} R^3 \left(V_{\text{эф}} \sin \beta \sqrt{\frac{\rho_q}{3c\sigma_s}} \right)^2 (\operatorname{ctg} \beta - f) \rho_0 \quad (7)$$

где k_c - коэффициент стружкообразования. В результате большого числа взаимодействия абразивных гранул с обрабатываемой поверхностью происходит удаление выступов микронеровностей. В результате обработки образуется новый характерный профиль. Дальнейшая обработка не приведет к изменению параметров, характеризующую данный профиль. Такой профиль называется установившейся шероховатостью. Для расчета среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости обработанной поверхности предложена формула [6]:

$$Ra_{\text{уст}} = 0,09 \sqrt{\frac{h_{\max}}{L_{\text{ед}} z_0}}, \quad (8)$$

где $L_{\text{ед}}$ - единичная длина; z_0 - номинальное число вершин зерен над единицей поверхности связи.

Основное время технологической операции для достижения заданной шероховатости может быть определено [6]:

$$t = -\frac{1}{k_u} \ln \frac{Ra_{\text{зад}} - Ra_{\text{уст}}}{Ra_{\text{исх}} - Ra_{\text{уст}}} \quad (9)$$

Коэффициент k_u , невозможно получить теоретически, а только экспериментальным путем. Разными исследователями получены значения этого коэффициента для разного сочетания технологических параметров, что позволяет оптимизировать технологический процесс.

Экспериментальная часть

В ходе экспериментальных исследований было проведено моделирование надежности технологического процесса вибрационной обработки в среде абразива. В качестве основных факторов, влияющих на надежность ТП выступают величина допуска и разброс технологических пара-

метров. Учитывался возможный разброс технологических параметров при обработке (амплитуда, частота, характерный размер абразивной гранулы равного радиусу описанной окружности) в диапазоне 5...15 %. Результаты представлены на рис. 2 и 3.

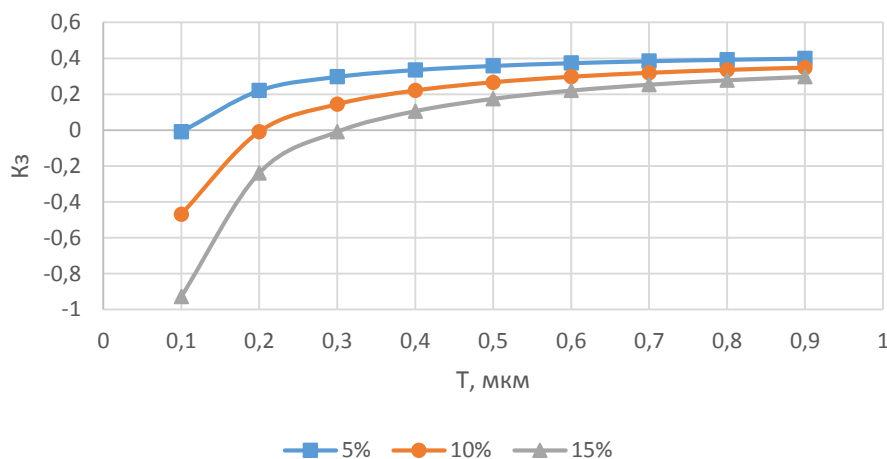


Рис. 2. Влияние величины допуска T и изменения диапазона разброса амплитуды, частоты колебания и характерного размера абразивной гранулы на надежность ТП ВиАО для контролируемого параметра – шероховатость Ra
 Fig. 2. Influence of tolerance value T and spread range changes in the amplitude, oscillation frequency and the abrasive granule size on vibroabrasive process reliability for the controlled parameter – roughness Ra

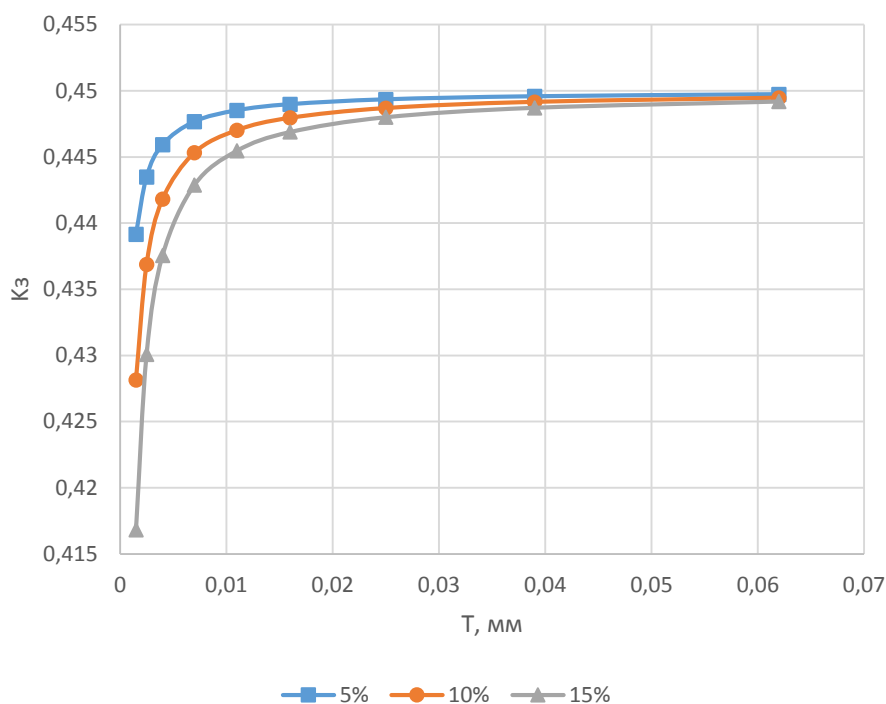


Рис. 3. Влияние величины допуска T и изменения диапазона разброса амплитуды, частоты колебания и характерного размера абразивной гранулы на надежность ТП ВиАО для контролируемого параметра — толщина снимаемого слоя h

Fig. 3. Influence of tolerance value T and spread range changes in the amplitude, oscillation frequency and the abrasive granule size on vibroabrasive process reliability for the controlled parameter - removed material layer thickness h

В процессе проведения предварительных исследований [7-9] и анализа работ [6, 10-12], установлено, что в зависимости от расположения, поверхности детали обрабатываются по-разному. Известные зависимости не могут в полной мере описать механизм взаимодействия абразивных гранул с внутренней поверхностью детали при ВиАО, следовательно, надежность ТП обработки внутренних поверхностей особо точных деталей не будет обеспечена.

Для обработки особо точных деталей необходимо задать дополнительный припуск на обработку так как качество точности для таких деталей меньше 8, 9 и важно чтобы размер после обработки находился в поле допуска. Поэтому необходимо определить толщину снимаемого слоя с поверхности детали. Исследование проводилось следующим образом. Образцы из алюминиевого сплава Д16Т типа втулка наружный Ø48, внутренний Ø42 длиной

20, 40, 60. Первичная обработка осуществлялась в среде бой кругов, зернистость 16. Дальнейшая обработка осуществлялась в среде трехгранные призмы 15×15, зернистость 8. Для определения толщины снимаемого слоя с внутренних поверхностей была нанесена изолента на наружную поверхность. После обработки изолента удалялась, образцы очищались. Взвешивание осуществлялось на весах модели АД-200. После этого новая изолента наносилась на поверхность, и обработка продолжалась.

Экспериментально толщина снятого слоя определяется по формуле:

$$h = \frac{m}{S_d \rho_d}, \quad (10)$$

где m — масса удаленного металла, S_d — площадь обрабатываемой поверхности детали, ρ_d — плотность материала детали.

Результаты исследований представлены на рис. 4 и 5.

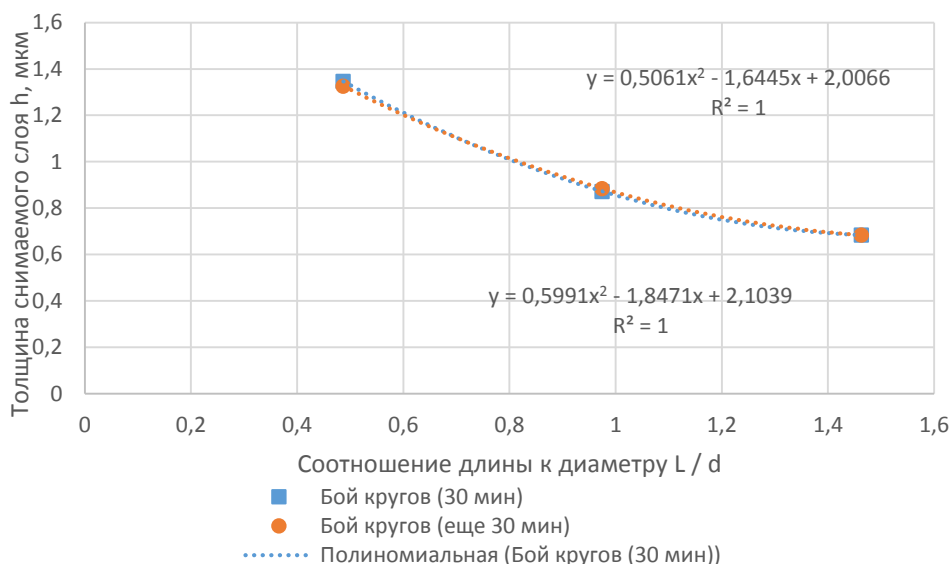


Рис. 4. Зависимость толщины снимаемого слоя h от соотношения длины к диаметру отверстия, материал алюминиевый сплав Д16Т, бой абразивных кругов
Fig. 4. The dependence of removed material layer thickness h on the length to the diameter hole ratio, material aluminum alloy D16T, abrasive media

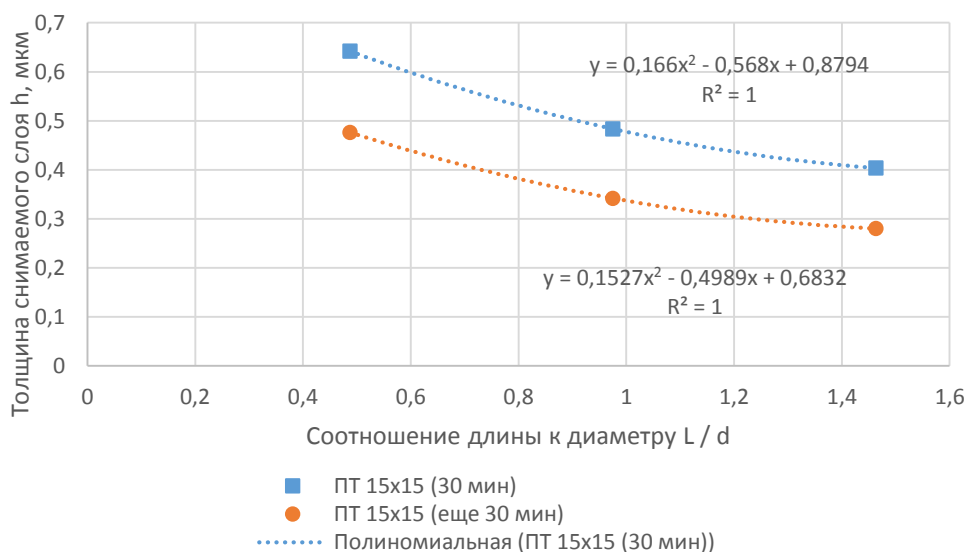


Рис. 5. Зависимость толщины снимаемого слоя h от соотношения длины к диаметру отверстия, материал алюминиевый сплав Д16Т, трехгранные призмы ПТ 15×15
Fig. 5. The dependence of removed material layer thickness h on the length to the diameter hole ratio, material aluminum alloy D16T, triangular prism 15×15

На основе полученных результатов сделаны следующие выводы:

1. Процесс ВиАО обеспечивает требуемый уровень качества в пределах поля допуска в определенном интервале рассеивания технологических параметров;

2. При увеличении соотношения длины к внутреннему диаметру детали

толщина снимаемого слоя уменьшается, объясняется это появлением зон «застоя», в которых процесс обработки нарушается;

3. Целесообразно ввести ограничение, в которых результаты могут быть применены при соотношении длины к внутреннему диаметру детали $L / d = 1,5$.

Заключение

На основании результатов предложена методика проектирования и оптимизации технологических процессов, обеспечивающая надежность обработки. Из множества возможных вариантов выбирается решение, при котором будет обеспечено, в первую очередь, требуемый уровень качества. В зависимости от поставленной технологической задачи, ограничительной

функцией может выступать толщина снимаемого слоя, шероховатость. Оценивание надежности осуществляется по регламенту ГОСТ 27.202-83. При выполнении условия $K_3(\tau) > 0$, определяется основное время технологической операции. ТП с наименьшим временем обработки и будет являться оптимальным.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Siemens Digital Industries Software. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/digital-manufacturing/13157>, дата обращения 12.04.2022
2. Корольков Ю.В. Повышение надежности технологического процесса центробежно-ротационной обработки в среде абразива: специальность 05.02.08 «Технология машиностроения»: дис на соискание ученой степени канд. техн. наук. / Корольков Юрий Вячеславович; Донской государственный технический университет. Ростов на-Дону, 2011. 175 с. Библиогр.: с 149.
3. Гребенкин Р.В. Повышение надежности отделочно-упрочняющей вибрационной обработки: специальность 05.02.08 «Технология машиностроения»: дис на соискание ученой степени канд. техн. наук. / Гребенкин Роман Викторович; Донской государственный технический университет. Ростов на-Дону, 2018. 150 с. Библиогр.: с 21.
4. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике термины и определения = Dependability in technics. Terms and definitions : межгосударственный стандарт : введ. в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 июня 2016 г. N 654-ст : Дата введения 2017-03-01.
5. ГОСТ 27.202-83 Надежность в технике (ССНТ). Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции = Reliability in technique. Technological systems. Methods of reliability evaluation by parameters of product quality : межгосударственный стандарт : введ. в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 28 февраля 1983 г. N 980 : Дата введения 1984-07-01.
6. Tamarkin M., Tishchenko E. Fundamentals of optimization of processes of parts processing with free

- abrasive. Saarbrücken/Jermany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015.
7. Mordovtsev A., Butenko V., Astashkin A. Research Part Surface Position Influence on Metal Removal and Steady-State Roughness During Vibro-Abrasive Processing. Journal of Physics: Conference Series, Divnomorskoe, 31 мая – 06 2021 года. Divnomorskoe, 2021. P. 052020. DOI 10.1088/1742-6596/2131/5/052020. EDN NLGAJT.
 8. Мордовцев А.А., Тамаркин М.А., Дамский Д.Б., Аветян Г.А. Применение вибрационной обработки в условиях "умного производства" для изготовления точных изделий типа "втулка". Упрочняющие технологии и покрытия. 2022;18(3(207)):121-124. doi 10.36652/1813-1336-2022-18-3-121-124.
 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;17(1(193)):22-26.
 10. Tamarkin, M.A., Tishchenko, E.E., Rozhnenko, O.A. Metal removal in the abrasive machining of complex surfaces. Russian Engineering Research. 2013;33(5):302–305
 11. Kolganova, Y.N., Tamarkin, M.A., Soldatov, B.G. Working environment choice technological aspects during clean-up vibration-abrasive processing of device parts with small grooves and holes. Materials Today: Proceedings. 2020;38:1385–1387.
 12. Тамаркин М.А., Колганова Е.Н., Ягмуров М.А. Обоснование гранулометрических характеристик рабочей среды при вибрационной обработке деталей с малыми пазами и отверстиями. Advanced Engineering Research. 2020;20(4):382-389. doi 10.23947/2687-1653-2020-20-4-382-389.

REFERENCE

1. Siemens Digital Industries Software [Internet]. [cited 2022 Apr 12]. Available from: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/digital-manufacturing/13157>

2. Korolkov YuV. Improving the reliability of the manufacturing process of centrifugal-rotary treatment in an abrasive medium [dissertation]. [Rostov-on-Don (RF)]: Don State Technical University; 2011.

3. Grebenkin RV. Improving the reliability of finishing and strengthening vibration treatment [dissertation]. [Rostov-on-Don (RF)]: Don State Technical University; 2018.
4. GOST 27.002-2015 Dependability in technics. Terms and definitions. [place unknown]: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology; 2017.
5. GOST 27.202-83 Reliability in technique. Technological systems. Methods of reliability evaluation by parameters of product quality. [place unknown]: the Resolution of the USSR State Committee on Standards; 1984.
6. Tamarkin M, Tishchenko E. Fundamentals of optimization of processes of parts processing with free abrasive. Saarbrücken/Jermany: LAP LAMBERT Academic Publishing; 2015.
7. Mordovtsev A, Butenko V, Astashkin A. Research Part Surface Position Influence on Metal Removal and Steady-State Roughness During Vibro-Abrasive Processing. *Journal of Physics: Conference Series*; 2021 May 31 – 06; Divnomorskoe: 2021. p. 052020. DOI 10.1088/1742-6596/2131/5/052020. EDN NLGAJT.
8. Mordovtsev AA, Tamarkin MA, Damsky DB, Avetyan GA. Vibratory finishing application in "smart manufacturing" for manufacturing precision sleeve type products. *Strengthening technologies and coatings*. 2022;18(3(207)):121-124. doi 10.36652/1813-1336-2022-18-3-121-124.
9. Tamarkin MA, Tishchenko EE, Mordovtsev AA, Kohanyuk AG. Study of vibration treatment of external and internal surfaces of parts during their preparation for coating. *Strengthening technologies and coatings*. 2021;17(1(193)):22-26.
10. Tamarkin MA, Tishchenko EE, Rozhnenko OA. Metal removal in the abrasive machining of complex surfaces. *Russian engineering research*. 2013;33(5):302–305.
11. Kolganova YN, Tamarkin MA, Soldatov BG. Working environment choice technological aspects during clean-up vibration-abrasive processing of device parts with small grooves and holes. *Materials today: Proceedings*. 2020; 38:1385–1387.
12. Tamarkin MA, Kolganova EN, Yagmurov MA. Substantiation of granulometric characteristics of the working medium during vibration treatment of parts with small grooves and holes. *Advanced engineering research*. 2020;20(4):382-389. doi 10.23947/2687-1653-2020-20-4-382-389.

Информация об авторе:

Мордовцев Алексей Александрович - аспирант кафедры «Технология машиностроения» Донского

государственного технического университета, тел. +79508441533.

Information about the authors:

Mordovtsev Aleksey Aleksandrovich, Postgraduate Student of the Department of Mechanical Engineering

Technology at Don State Technical University, phone: +79508441533.

**Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.**

Статья поступила в редакцию 29.04.2022; одобрена после рецензирования 16.05.2022; принята к публикации 23.05.2022. Рецензент – Киричек А.В., доктор технических наук, профессор, проректор по перспективному развитию Брянского государственного технического университета, член редколлегии журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 29.04.2022; approved after review on 16.05.2022; accepted for publication on 23.05.2022. The reviewer is Kirichek A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for Long-term Development at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.