

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 621.9

Разработка технологии вибрационной обработки деталей вентиляторов**Э.Э. Тищенко, Д.С. Газин, А.А. Кучеренко**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены результаты исследований процесса вибрационной обработки деталей вентиляторов, изготавливаемых на предприятии ООО «Ростовский Воздухозавод». Исследования в области обработки деталей с использованием гранулированных сред подтвердили актуальность этих методов в условиях современного производства. Были изучены параметры, влияющие на шероховатость поверхности, с целью оптимизации технологического процесса. Проведенные эксперименты включали вибрационную обработку образцов рабочего колеса с использованием абразивных шаров различных частот. Результаты показали, что увеличение частоты обработки приводит к значительному снижению шероховатости — до 68 % при 36 Гц. Выводы подчеркивают необходимость применения частоты 33 Гц и времени обработки 20–40 минут для достижения оптимального качества поверхности. Полученные результаты важны для повышения эффективности технологических процессов в машиностроении.

Ключевые слова: вибрационная обработка, качество поверхности

Для цитирования: Тищенко Э.Э., Газин Д.С., Кучеренко А.А. Разработка технологии вибрационной обработки деталей вентиляторов. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(5):00–00.

Developing the Technology of Vibro-Abrasive Machining the Fan Parts**Elina E. Tishchenko, Daniil S. Gazin, Artem A. Kucherenko**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The article presents the results of the studies on vibro-abrasive machining of fan parts manufactured at the enterprise “Rostovskii Vozdukhovozvod”, LLC. The study of the process of machining the parts using granular media proved the relevance of such methods in modern manufacturing environments. Parameters affecting surface roughness were studied to optimise the technological process. The experiments on vibro-abrasive machining the fan wheel samples using abrasive balls were conducted at different vibration frequencies. The results showed that the increase of vibration frequency resulted in significant reduction of roughness — by up to 68% at 36 Hz. The findings emphasize the need to use a 33 Hz frequency and machining time of 20–40 minutes to achieve optimal surface quality. The results obtained are important as they contribute to enhancing efficiency of technological processes in mechanical engineering.

Keywords: vibro-abrasive machining, surface quality

For Citation: Tishchenko EE, Gazin DS, Kucherenko AA. Developing the Technology of Vibro-Abrasive Machining the Fan Parts. *Young Researcher of Don*. 2025;10(5):00–00.

Введение. Методы обработки с использованием гранулированных рабочих сред завоевали широкую популярность в машиностроении еще много десятилетий назад. В середине 1960-х годов профессор Бабичев А.П. основал научную школу, специализирующуюся на изучении вибрационных технологий обработки деталей. Эта работа велась на базе кафедры «Технология машиностроения» Ростовского института сельхозмашиностроения (сегодня — Донской государственный технический университет). Множество последователей Бабичева внесли значительный вклад в развитие данного направления, расширив его научные горизонты. К 1990-м годам исследования школы охватывали обширный спектр методов обработки свободным абразивом, включая вибрационную, центробежно-ротационную, струйно-абразивную, турбоабразивную, магнитно-абразивную технологии, а также обработку абразивом, уплотненным за счет инерционных сил, гидроабразивную обработку и другие современные методы [1, 2].

С развитием цифровых технологий на производстве и ужесточением требований к контролю качества поверхностного слоя детали методы обработки в гранулированных средах сохранили свою значимость. Они успешно применяются для полирования, шлифования, упрочнения поверхностей, снятия острых кромок, удаления заусенцев и литников, а также для подготовки деталей под нанесение покрытий и других задач. Отличительной чертой обработки с использованием свободно движущихся гранулированных сред является возможность одновременной загрузки большого количества деталей, включая сложные фасонные изделия, без необходимости их точной установки. Это существенно оптимизирует производственные затраты и повышает экономическую привлекательность данного метода.

Основная часть. При изучении методов механической обработки поверхностей изделия ключевым этапом является теоретический анализ контакта режущего элемента инструмента с материалом детали. Даже для широко известных технологий эта задача представляет определенные трудности. Обработка в гранулированных средах усложняется тем, что режущий инструмент создается непосредственно в процессе обработки, формируя рабочую среду с особыми свойствами. Отдельные частицы среды многократно взаимодействуют с микронеровностями обрабатываемой поверхности. Некоторые из этих столкновений приводят к микрорезанию материала. Царапины, наслаиваясь друг на друга, формируют особый микрорельеф поверхности.

Ученые школы А.П. Бабичева проводили работу в различных направлениях и на основании множества исследований сформулировали теорию. В дальнейшем она была подтверждена в ходе экспериментов и нашла применение при проектировании технологических процессов [1–4], но в условиях современного производства теория требует своевременной доработки.

Упрочняющая обработка осуществляется путем деформирования в поверхностном слое детали. Воздействие заключается в многократном нанесении ударов частицами среды. Каждая гранула при соударении с поверхностью детали оставляет единичный след. В последствие, при многократном повторении, происходит наложение и пересечение этих следов, что, в свою очередь, формирует микрорельеф поверхности. Под воздействием деформации происходит постепенное скругление выступов микронеровностей, что снижает высотные параметры шероховатости, в то время как шаговые, при этом, практически не изменяются. Это продолжается до тех пор, пока на поверхности не появится значение установившейся шероховатости, которое при дальнейшей обработке не меняется.

Ученики научной школы профессора Бабичева А.П. провели множество исследований, на основании результатов которых, при помощи методики профессора Королева А.В. [4], определили зависимость для расчета установившейся шероховатости при обработке в абразивных гранулированных средах:

$$Ra_{\text{уст}} = K \cdot K_{\text{ТЖ}} \sqrt{\frac{h_{\text{max}} \cdot l_{\text{ед}}}{z_0}}, \quad (1)$$

где $l_{\text{ед}}$ — единичная длина; z_0 — номинальное число вершин зерен над единицей поверхности связки; — эмпирический коэффициент (определен для различных методов обработки в гранулированных абразивных средах); $K_{\text{ТЖ}}$ — коэффициент, учитывающий влияние технологической жидкости, h_{max} — максимальная глубина внедрения частицы среды. Её можно определить по зависимости:

$$h_{\text{max}} = 2 \cdot v_{\text{эф}} \cdot R \cdot \sin \beta \sqrt{\frac{\rho_{\text{ч}}}{3 \cdot K_R \cdot c \cdot \sigma_s}}, \quad (2)$$

где $v_{\text{эф}}$ — эффективная скорость движения частицы; R — радиус частицы среды; $\rho_{\text{ч}}$ — плотность материала частицы; c — коэффициент, оценивающий несущую способность контактной поверхности; β — угол удара частицы среды о поверхность обрабатываемой детали; σ_s — предел текучести материала детали; K_R — коэффициент, учитывающий влияние зернистости абразивной частицы на фактическую площадь контакта.

Было проведено значительное количество экспериментальных исследований процесса вибрационной обработки в абразивных средах. Для проведения исследования использовались фрагменты рабочего колеса осевого вентилятора (рис. 1), работающего при пониженных температурах. Колеса такого вентилятора изготавливаются на предприятии ООО «Ростовский Воздухозавод» (РВЗ). Рабочим колесом (РК) называется сборочная единица, включающая в себя лопасти, центральную втулку и ступицу, благодаря которой РК устанавливается на двигатель. РК служит для преобразования механической энергии электродвигателя в энергию движения воздуха. Детали изготовлены из сплава АК12М2 методом литья под давлением.

Образцы (рис. 2) были разделены на три группы. В качестве абразивной среды использовались абразивные шары с зернистостью М60 и диаметром 10 мм. Каждый набор обрабатывался при различной частоте колебаний. С интервалом в 20 минут образцы извлекались из установки, и проводился замер шероховатости поверхности.

Для измерения шероховатости поверхности был использован цифровой щуповой профилометр Mitutoyo SJ-210.

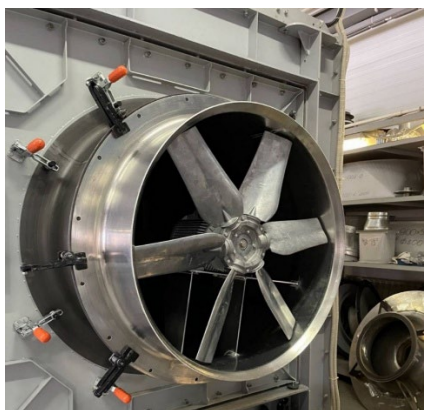


Рис. 1. Осевой вентилятор производства ООО «РВЗ»

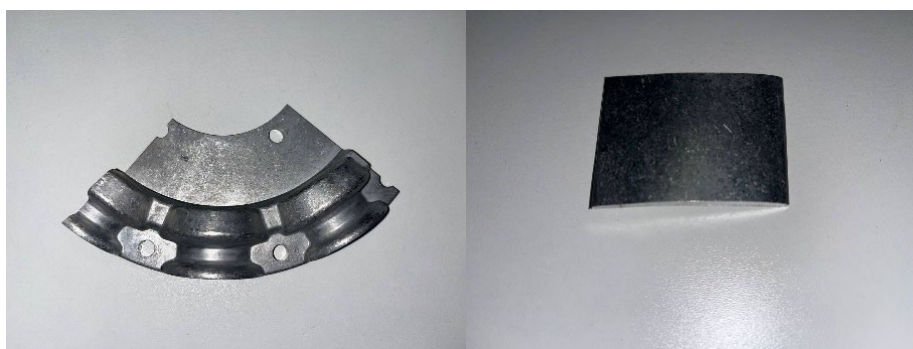


Рис. 2. Образцы для исследования

По результатам экспериментальных исследований были построены следующие графики:

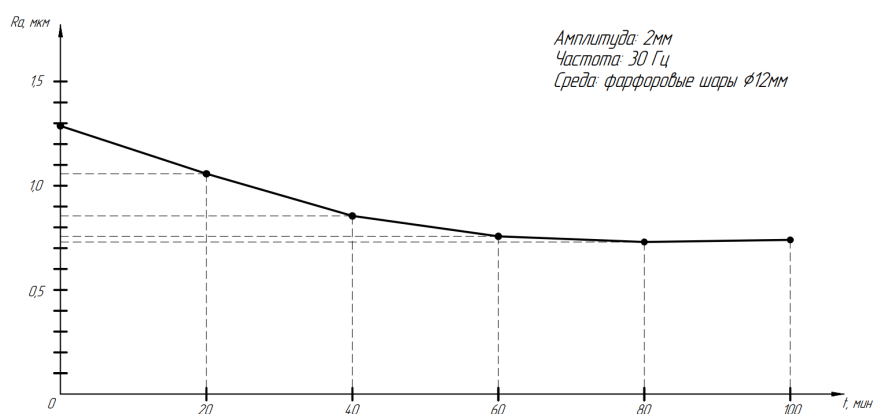


Рис. 3. Значение шероховатости при обработке с частотой 30 Гц

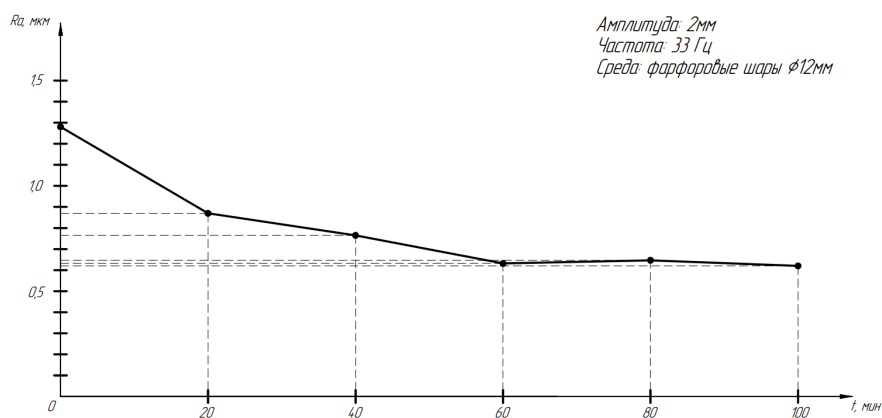


Рис. 4. Значение шероховатости при обработке с частотой 33 Гц

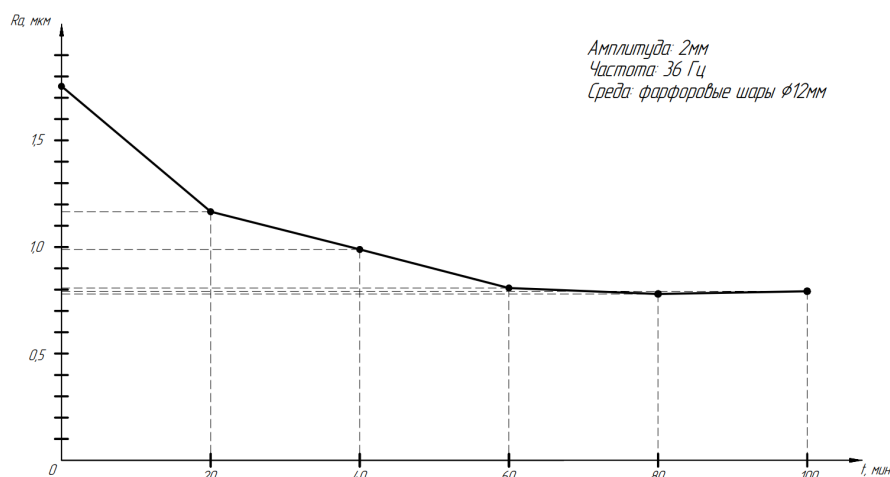


Рис. 5. Значение шероховатости при обработке с частотой 36 Гц

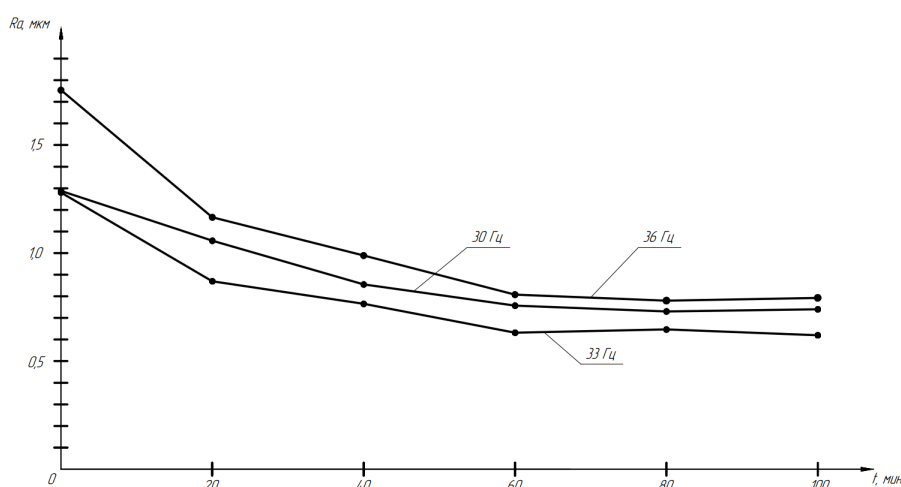


Рис. 6. Сравнение полученных кривых

Заключение. По представленным кривым видно, что при частоте колебаний 30 Гц процесс протекает достаточно медленно, вследствие чего шероховатость на протяжении всего времени обработки снижается практически равномерно. В результате удалось понизить шероховатость поверхности с $R_a 1,28$ до $R_a 0,75$, т.е. на 41 %.

За первые 20 минут шероховатость снизилась на 18 %, а за последующие 20 минут — еще на 16 %. При этом на третьем промежутке шероховатость упала всего на 7 %, что может свидетельствовать о приближении к зоне устойчивой шероховатости.

По графику, представленному на рис. 4, видно, что при обработке с частотой колебаний 33 Гц удалось снизить шероховатость поверхности на 59 % с $R_a 1,28$ до $R_a 0,63$. За первые 20 минут достигнуто снижение высоты микронеровностей на уровне 40 %, а за последующие два временных промежутка уменьшение составило всего по 9 % на каждом.

Исходя из данных, представленных на рис. 5, следует, что при обработке с частотой колебаний 36 Гц удалось снизить шероховатость поверхности на 68 % с $R_a 1,75$ до $R_a 0,57$. При этом за первые 20 минут достигнуто уменьшение значения шероховатости на 34 %, за последующие 20 минут шероховатость снизилась с $R_a 1,16$ до $R_a 0,98$, т.е. на 10 %. На третьем интервале уменьшение шероховатости составило 24 % от начального значения.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы и дать рекомендации по проектированию технологического процесса вибрационной обработки в абразивных средах:

1. Независимо от частоты, при которой происходит обработка, наиболее интенсивными являются первые 20 минут. В дальнейшем, при увеличении времени, высота микронеровностей также снижается, но уже с меньшей скоростью, постепенно приближаясь к значению устойчивой шероховатости.

2. С увеличением частоты растет производительность обработки. При повышении частоты на 3 Гц, с 30 Гц до 33 Гц, за 20 минут шероховатость снижается на 40 % против 18 % при обработке на частоте 30 Гц.

3. По результатам исследований, наиболее эффективной оказалась обработка при частоте 33 Гц в течение 20 минут. Дальнейшее увеличение времени не приносит столь же значительного результата.

4. Примерно через 60 минут после начала обработки величина шероховатости начинает колебаться около одного значения, что свидетельствует о получении устойчивой шероховатости.

5. При проектировании технологического процесса обработки детали следует принимать частоту 33 Гц, а время обработки устанавливать в диапазоне 20–40 минут. Уменьшение времени не позволит добиться требуемого качества поверхности, а увеличение, наоборот, сильно повысит себестоимость обработки без значительного практического эффекта.

Список литературы

1. Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э. *Основы оптимизации процессов обработки деталей свободным абразивом*. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing; 2015. 140 с. URL: <https://mybooklist.ru/book/oz154630865?ysclid=mdd4aw1wmi392219345> (дата обращения: 22.07.2025).
2. Tamarkin MA, Tishchenko EE, Murugova EV. Technological Design Processes of Vibration Processing of Particularly Accurate Parts of Agricultural Machinery. In: *Proceedings of 14th International Scientific and Practical Conference “State and Prospects for the Development of Agribusiness — INTERAGROMASH 2021”*. E3S Web of Conferences. Vol. 273. Rostov-on-Don: E3S Sciences; 2021. P. 07032. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127307032>
3. Tamarkin MA, Tishchenko EE, Murugova EV. Design of High Precision Machining Part Processes in Free Abrasives. In: Shamtsyan M, Pasetti M, Beskopylny A (Eds.). *Proceedings of the Conference “Robotics, Machinery and Engineering Technology for Precision Agriculture”*. Smart Innovation, Systems and Technologies. Vol 247. Singapore: Springer; 2022. P. 157–164. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3844-2_17
4. Королёв А.В. *Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке*. Саратов: Изд-во Саратовского университета; 1975. 191 с.

Об авторах:

Элина Эдуардовна Тищенко, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), lina_tishchenko@mail.ru

Даниил Сергеевич Газин, студент кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), dagazin@yandex.ru

Артем Андреевич Кучеренко, студент кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), tema.kucherenko555@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Elina E. Tishchenko, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Mechanical Engineering Technology Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), lina_tishchenko@mail.ru

Daniil S. Gazin, Student of the Mechanical Engineering Technology Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), dagazin@yandex.ru

Artem A. Kucherenko, Student of the Mechanical Engineering Technology Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), tema.kucherenko555@gmail.com

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.