

УДК: 534.21: 621.92

OECD: 1.03 AA

Обоснование систем снижения шума и вибраций шлифовальных кругов

Солдатов А.Г.¹, Чукарин А.Н.², Финоченко Т.А.^{3*}

¹ Аспирант

² Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Основы проектирования машин»

³ К.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности»

^{1,2,3} Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, РФ

Аннотация

Процесс шлифования является динамической технологической операцией обработки деталей, фактически и определяющей точность макро и микрогеометрию поверхности изделия. Известно, что воздействие повышенных уровней шума не только негативно влияют на состояние здоровья станочников, но и производительность труда и повышает брак выпускаемой продукции. Поэтому проблема снижения акустического дискомфорта наиболее актуальная для станочников шлифовальной группы. Особо следует выделить варианты обработки тонкими шлифовальными кругами, имеющими сравнительно низкую изгибную жесткость, что характерно для профильно-шлифовальных станков и зубошлифовальных станков, по методу копирования, а также шлифовального инструмента машин для ручной обработки. В статье приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований виброакустических характеристик шлифовальных кругов, на основе которых и разработаны способы снижения шума и вибрации тонких шлифовальных кругов.

Ключевые слова: шлифовальный круг, шум, вибрация, коэффициент колебательной энергии, звукоизоляция, вибропоглощение.

Substantiation of systems for reducing noise and vibrations of grinding wheels

Soldatov A.G.¹, Chukarin A.N.², Finochenko T.A.^{3}*

¹ Postgraduate Student

² DSc, full Professor, Head of the Department of 'Fundamentals of Machine Design'

³ PhD, Associate Professor, Head of the Department of 'Life Safety'

^{1,2,3} Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract

The grinding process is a dynamic technological operation for processing parts, which actually determines the accuracy of the macro and microgeometry of the surface of the product. It is known that exposure to elevated noise levels not only negatively affects the health of machine operators, but also labor productivity and increases the rejection of products. Therefore, the problem of reducing acoustic discomfort is the most relevant for machine operators of the grinding group. Of particular note are the options for processing with thin grinding wheels that have a relatively low bending stiffness, which is typical for profile grinders and gear grinders, according to the copying method, as well as grinding tools for manual processing machines. The article presents the results of experimental and theoretical studies of the vibroacoustic characteristics of

*E-mail: fta09@bk.ru (Финоченко Т.А.)

grinding wheels, on the basis of which methods have been developed to reduce noise and vibration of thin grinding wheels.

Keywords: grinding wheel, noise, vibration, vibration energy coefficient, sound insulation, vibration absorption.

Введение

В качестве модели источника шума применительно к шлифовальным кругам принимается круглая пластина, закрепленная в центре. Звуковое давление и уровни звукового давления данной модели согласно данным исследования [1-4] приведены к виду:

$$P = \frac{2dV_k k}{r} \sqrt{\frac{E}{\rho h}}; \quad L_p = 20 \lg \frac{dV_k k}{10^{-5}} \left(\frac{E}{\rho h} \right)^{0,5},$$

где d – диаметр круга, м; V_k – скорость колебаний шлифовального круга на собственных частотах, м/с; k – коэффициент, определяющий собственные частоты колебаний; r – расстояние от расчетной точки до шлифовального круга, м; E – модуль упругости, Па; ρ – плотность, кг/м³; h – толщина шлифовального круга, м.

1. Расчет скорости колебаний шлифовального круга

Расчет скорости колебаний V_k основан на расчётной схеме, приведенной на рис.1

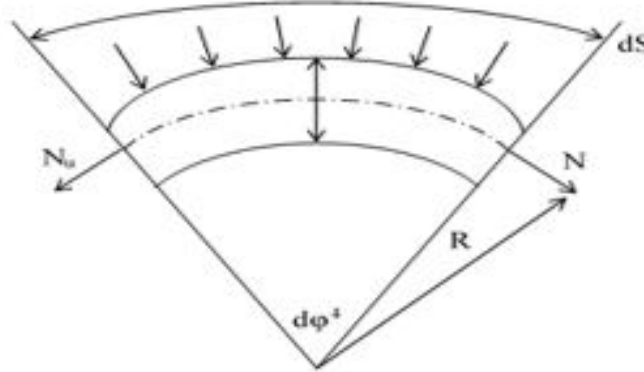


Рис. 1. Расчетная схема колебаний шлифовального круга

Давление (P) действующее на шлифовальный круг определяется следующим выражением:

$$P = \frac{(F_p \sin 0,017nt + \varphi)}{\pi \cdot R_H} \quad (1)$$

$$m_0 = \frac{\rho h (R_H^2 - R_b^2)}{2R_H} \quad R = \frac{R_H + R_b}{2},$$

где R_H и R_b – наружный и внутренний диаметр шлифовального круга, м; h – толщина шлифовального круга, м.

Продольное усиление (N) возникающее в источнике – шлифовальном круге, определяется по формуле:

$$N = EF \frac{U}{R}, \quad (2)$$

где $F = \pi(R_H^2 - R_b^2)$

Так как шлифовальный круг вращается с частотой $\omega = VR$, то на него воздействует радиальная сила:

$$F_{\text{пад}} = m_0(VR)^2 u$$

$$\ddot{u} + \left[\frac{EF}{m_0 R^2} - (VR)^2 \right] u = \frac{F_p}{2R_H} \sin(0,17nt + \varphi) \quad (3)$$

Действительная часть скорости колебаний определяется выражением:

$$R_e\{V\} = \frac{F_p 0,17n}{2R_H^2} \cdot \frac{\left[\frac{EF}{m_0 R^2} - (VR)^2 \right] \cos(0,17nt + \varphi)}{\left[\frac{EF}{m_0 R^2} - (VR)^2 \right]^2 + \left(\frac{EF}{m_0 R^2} \right)^2} \quad (4)$$

2. Коэффициент потерь колебательной энергии для шлифовального круга

На основе полученных теоретических зависимостей расчетным путем определяются октавные уровни звукового давления, при сравнении которых с предельно-допустимыми нормами и определяет необходимую акустическую эффективность системы (ΔL) как:

$$\Delta L = L_i - L_c,$$

где L_i - теоретически рассчитанные уровни звукового давления, дБ;

L_c - предельно-допустимые уровни звукового давления, дБ.

Полученные зависимости, позволяют сделать вывод, что инженерный расчет уровней звукового давления возможен при известных значениях частотно-зависимого коэффициента потерь колебательной энергии η . Эти данные в настоящее время задаются только по экспериментальным данным. Поэтому для шлифовального круга толщиной h мм проведены экспериментальные исследования согласно методике, изложенной в работах [5-7]. Результаты выполненных измерений, шлифовального круга толщиной 6 мм, коэффициентов потерь колебательной энергии, подвергнуты математической обработке и представлены в графическом виде на рис.2.

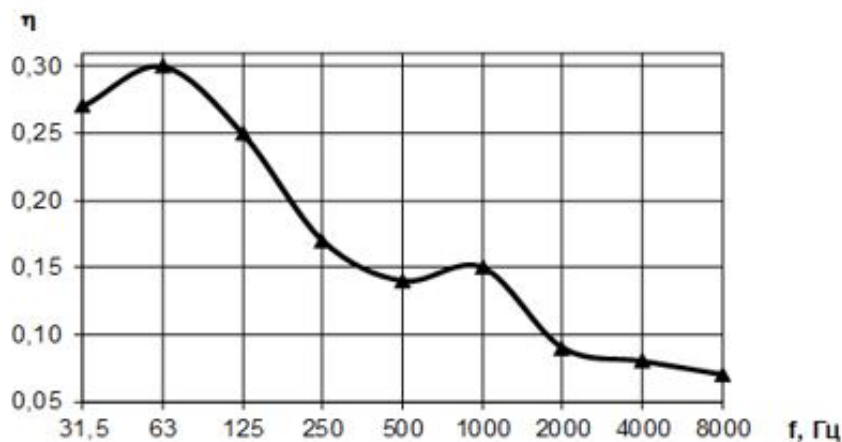


Рис. 2. Коэффициент потерь колебательной энергии шлифовального круга толщиной 6 мм на шпинделе

Регрессионный анализ, выполнен нелинейными функциями, его результаты представлены в табл. 1, а графики аппроксимации нелинейными функциями на рис. 3.

Таблица 1

Результаты регрессионного анализа нелинейными функциями

Название кривой	Уравнение	СКО
Экспоненциальная	$\eta = 0,2e^{-1,65 \cdot 10^{-4} f}$	$5,58 \cdot 10^{-2}$
Степенная	$\eta = 0,838 f^{-0,278}$	$2,71 \cdot 10^{-2}$
Гиперболическая 1 типа	$\eta = 0,123 + \frac{6,458}{f}$	$5,21 \cdot 10^{-2}$
Гиперболическая 2 типа	$\eta = \frac{1}{5,22 + 0,0014 f}$	$5,65 \cdot 10^{-2}$
Гиперболическая 3 типа	$\eta = \frac{f}{-252,7 + 9,41 f}$	$1,72 \cdot 10^{-1}$
Логарифмическая	$\eta = 0,438 - 0,043 \cdot \ln f$	$2,53 \cdot 10^{-2}$
S-образная	$\eta = e^{-2,17 + \frac{37,878}{f}}$	$6,73 \cdot 10^{-2}$
Обратнологарифмическая	$\eta = \frac{1}{-5,08 + 2,04 \cdot \ln f}$	$8,63 \cdot 10^{-2}$

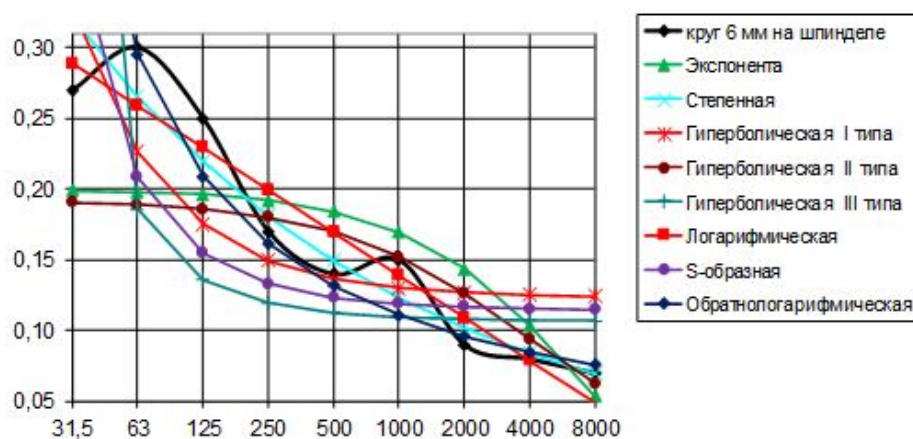


Рис. 3. Графики аппроксимации нелинейными функциями для шлифовального круга толщиной 6 мм на шпинделе

Регрессионный анализ выполненный полиномиальными функциями приведен в табл. 2, а графики зависимости аппроксимации полиномами представлен на рис. 4.

Таблица 2

Результаты регрессионного анализа полиномиальными функциями

Степень	Уравнение	СКО
1	$\eta = 0,498 - 0,0998(lgf)$	$2,70 \cdot 10^{-2}$
2	$\eta = 0,537 - 0,18(lgf) + 0,0148(lgf)^2$	$2,76 \cdot 10^{-2}$
3	$\eta = 0,019 + 0,462(lgf) - 0,235(lgf)^2 + 0,0308(lgf)^3$	$2,67 \cdot 10^{-2}$
4	$\eta = -2,35 + 4,4(lgf) - 2,587(lgf)^2 + 0,632(lgf)^3 - 0,0556(lgf)^4$	$2,42 \cdot 10^{-2}$
5	$\eta = -13,815 + 28,203(lgf) - 21,75(lgf)^2 + 8,118(lgf)^3 - 1,478(lgf)^4 + 0,1053(lgf)^5$	$1,78 \cdot 10^{-2}$
6	$\eta = -18,034 + 38,684(lgf) - 32,34(lgf)^2 + 13,692(lgf)^3 - 3,091(lgf)^4 + 0,349(lgf)^5 - 0,015(lgf)^6$	$2,17 \cdot 10^{-2}$
7	$\eta = 254,66 - 748,02(lgf) + 921,58(lgf)^2 - 616,86(lgf)^3 + 242,46(lgf)^4 - 56,026(lgf)^5 + 7,056(lgf)^6 - 0,374(lgf)^7$	$1,145 \cdot 10^{-2}$

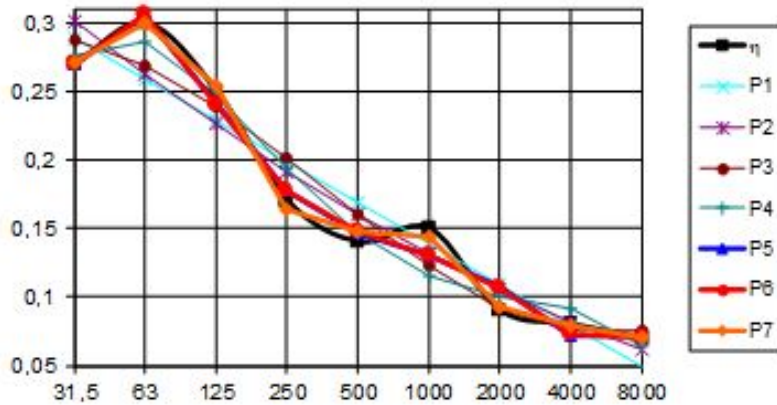


Рис. 4. Графики аппроксимации полиномами для шлифовального круга толщиной 6 мм

Наименьшее среднее квадратичное отклонение из всех функций является полиномиальной функцией седьмой степени, то регрессионная зависимость, изображенная на графике, имеет следующий вид [7-8]:

$$\eta = 254,66 - 748,02(lgf) + 921,58(lgf)^2 - 616,86(lgf)^3 + 242,46(lgf)^4 - 56,026(lgf)^5 + 7,056(lgf)^6 - 0,374(lgf)^7$$

3. Система снижения шума от шлифовального круга

Полученное уравнение регрессии и позволяет выполнить расчет уровней звукового давления шлифовального круга. Процесс шлифования реализуется при малых значениях глубины резания. Поэтому предлагаемая система снижения шума (рис.5) представляет собой устанавливаемые с двух сторон шлифовального круга шайбы, диаметр которых на 8-10 мм меньше диаметра шлифовального круга [9-11].

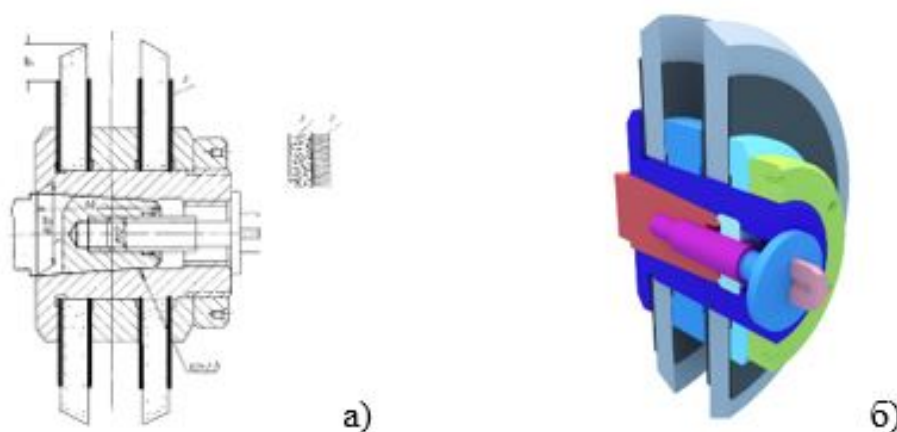


Рис. 5. Узел крепления шлифовального круга:

- а) 1 – двухслойные пластины; 2 – резина губчатая толщиной 2÷3 мм;
3 – стеклопластик толщиной 2 мм; б) 3D модель

Сами шайбы представляют собой двухслойную систему, состоящую из намагниченной резины марки 1002, имеющей величину $\eta = 0,6$ и толщиной 6 мм [6,7]. Для предотвращения воздействия стружкой с наружной стороны вибропоглощающий слой закрывается стальными шайбами толщиной 0,5÷0,8 мм.

Для круга $h \times d = 6 \times 250$ мм и $h \times d = 13 \times 250$ мм диаметр шайбы составляет 230 мм, причем по мере износа шлифовального круга до критических размеров шайбы соответственно меняются (с учетом того, что диаметр шайбы меньше диаметра круга на 20 мм).

Для круга $h \times d = 6 \times 250$ мм снижение шума за счет уменьшения площади звукового излучения составляет 12 дБ. Снижение уровней звукового давления от эффекта вибропоглощения определяется по формуле:

$$L = \lg \frac{4 \cdot 10^9 \cdot 2,16 \cdot 10^{-7} \cdot 0,05 + 2 \cdot 10^7 \cdot 2,16 \cdot 10^{-7} \cdot 0,6}{(2 \cdot 10^9 \cdot 2,16 \cdot 10^{-7} + 2 \cdot 10^7 \cdot 2,16 \cdot 10^{-7})^{0,05}} = 7 \text{ дБ}$$

Таким образом, учитывая сложение величин снижение уровней звукового давления круга $h \times d = 6 \times 250$ мм составляет 13 дБ.

Для круга $h \times d = 13 \times 250$ мм снижение уровней звукового давления от снижения площади звукоизлучающей поверхности составляет 13 дБ, а за счет эффекта вибропоглощения – 6 дБ.

Заключение

Следует отметить, что эффект снижения шума получаемый за счет частичной звукоизоляции значительно больше, чем от вибропоглощения, однако снижение уровней вибрации шлифовальных кругов обеспечивается именно вибропоглощающими элементами, а это приводит к существенному улучшению качества обрабатываемых поверхностей, которые достигается при финишной обработке шлифованием.

Список литературы

1. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики. СПб.: Политехника. – 2000. – 482 с.
2. Чукарин А.Н. Теория и метода акустических расчетов и проектирования технологических машин для механической обработки. Ростов н/Д, Издательский центр ДГТУ. – 2004. – 152 с.
3. Balanova M.V., Finochenko T.A., Pereverzev I.G. Physical factors affecting the reliability of rail crane operators. *Dependability*. 2019; 19 (1). P. 36-39. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-1-36-39>
4. Chukarin A.N., Beskopylny A.N., Isaev A.G. Studies of vibroacoustic characteristics in the operator's work area during abrasive treatment of welds // *Work safety in industry*. 2019. 11. – P. 7-12. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-11-7-12
5. Общемашиностроительные нормативы режимов резани. Справочник: в 2-х т. / А.Д. Локтев, И.Ф. Гущин, В.А. Батуев и др. // М.: Машиностроение, 1999. – 640 с.
6. Borisova A.V., Finochenko T.A., Finochenko V.A. The Use of the Expert Method in Solving the Issues of Choosing the Instrumentation of the Procedure for Controlling Production Factors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; IOP Publishing ([Bristol, UK], England) – 2021. Vol. 666, № 2. DOI:10.1088/1755-1315/666/2/022022.
7. Theoretical study of the vibration excitation and noise generation processes of the grinding wheels of thread and spline grinding machines / Курченко П.С., Шашурин А.Е., Разаков Ж.П., Чукарин А.Е. // *АКУСТИКА*. 2021 Vol. 39. С.175-178. DOI 10.36336/akustika202139173.
8. Звукопоглощающие материалы и конструкции. Справочник. М.: Связь, 1970. – 124 с.
9. Характеристики шумового дискомфорта в рабочей зоне прутковых токарных станков / Т.А. Финоченко, И.А. Яицков, А.Н. Чукарин, С.А. Раздорский // *Российский научно-технический журнал «Мониторинг. Наука и Технология»*. – 2018.– № 3 – С. 10-13
10. Снижение шума металлорежущих станков / Т.А. Финоченко, Н.М. Яицкова, И.Г. Переверзев // *Труды Ростовского государственного университета путей сообщения*. – 2020. – № 2 (51). – С. 112–117.
11. Теоретическое обоснование способов снижения шума и вибраций крупногабаритных шлифовальных кругов / Т. А. Финоченко, А. Н. Чукарин, А. Г. Солдатов, Т. К. Суворова // *NOISE Noise Theory and Practice*. 2022.Том 8 №2. С.35-44

References

1. Ivanov N.I., Nikiforov A.S. *Fundamentals of vibroacoustics*. St. Petersburg: Polytechnic. - 2000. - 482 p.
2. Chukarin A.N. *Theory and method of acoustic calculations and design of technological machines for machining*. Rostov n/a, DSTU Publishing Center. - 2004. - 152 p.
3. Balanova M.V., Finochenko T.A., Pereverzev I.G. Physical factors affecting the reliability of rail crane operators. *Dependability*. 2019; 19 (1). P 36-39. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-1-36-39>
4. Chukarin A.N., Beskopylny A.N., Isaev A.G. Studies of vibroacoustic characteristics in the operator's work area during abrasive treatment of welds // *Work safety in industry*. 2019. 11. - R. 7-12. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-11-7-12
5. Borisova A.V., Finochenko T.A., Finochenko V.A. The Use of the Expert Method in Solving the Issues of Choosing the Instrumentation of the Procedure for Controlling Production

Factors. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; IOP Publishing ([Bristol, UK], England) - 2021. Vol. 666, No. 2. DOI:10.1088/1755-1315/666/2/022022.

6. Kurchenko P.S., Shashurin A.E., Razakov Zh.P., Chukarin A.E. Theoretical study of the vibration excitation and noise generation processes of the grinding wheels of thread and spline grinding machines. // AKUSTIKA. 2021 Vol. 39. P.175-178. DOI 10.36336/akustika202139173.

7. General engineering standards for cutting modes. Directory: in 2 vol. / A.D. Loktev, I.F. Gushchin, V.A. Batuev and others // M.: Mashinostroenie, 19991. – 640 p.

8. Sound-absorbing materials and structures. Directory. M.: Communication, 1970. - 124 p.

9. Characteristics of noise discomfort in the working area of bar lathes / T.A. Finochenko, I.A. Yaitkov, A.N. Chukarin, S.A. Razdorsky // Russian scientific and technical journal "Monitoring. Science and Technology" 2018. № 3. P. 10-13

10. Noise reduction of machine tools / T.A. Finochenko, N.M. Yaitkova, I.G. Pereverzev // Proceedings of the Rostov State University of Communications. 2020. No. 2 (51). P. 112–117

11. Finochenko T. A., Chukarin A. N., Soldatov A. G., Suvorova T. K. Theoretical substantiation of methods for reducing noise and vibrations of large-sized grinding wheels // NOISE Noise Theory and Practice. 2022.Vol. 8 №2. P. 35-44