

УДК: 331.45
OECD: 02.03

Акустическая модель системы «шлифовальный круг - заготовка» обдирочно-шлифовального станка

Купцова И.С.

Младший научный сотрудник, Донской государственной технической университет,
г. Ростов-на-Дону, РФ

Аннотация

Представлены результаты теоретических исследований процессов возбуждения вибраций и шумообразования при обработке деталей различной геометрии на обдирочно-шлифовальных станках. Разработаны модели акустической динамики рассматриваемой системы «шлифовальный круг – заготовка». Для деталей круглой и квадратной форм, имеющих постоянный момент инерции в направлении осей координат, скорость колебаний определяется не из системы, а из одного дифференциального уравнения. Произведенный теоретический анализ позволит получить аналитические выражения уровней звукового давления, создаваемого отдельными элементами и системой «шлифовальный круг - заготовка». Теоретический расчет октавных уровней звукового давления и сравнение расчетных уровней с санитарными нормами позволяет найти требуемую звукоизоляцию в соответствующих частотных диапазонах. Именно эти данные позволяют выполнить акустический расчет и компоновку системы шумозащиты на этапе проектирования подобных станков.

Ключевые слова: обдирочно-шлифовальный станок, источники шума, вибрации, акустическая модель, рабочая зона, условия труда, безопасность.

Acoustic model of the "grinding wheel-blank" system of the roughing and grinding machine

Kuptsova I.S.

Junior research scientist, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract

This article presents the results of theoretical studies of the processes of vibration excitation and noise generation during abrasive processing of welds of frame structures. Welding is one of the most popular technologies for joining metal structures. One of the mandatory steps after welding is to clean the welded joints. However, the processing process is accompanied by strong noise, which generally exceeds the standard values in the operator's work area. The paper considers various design schemes according to the conditions for fixing these elements. The oscillation rates are determined according to the fixing conditions. Corners and channels on the profile differ in geometric parameters. Of particular interest is the ratio of the moments of inertia along the corresponding coordinate axes to the cross-sectional area, since this ratio largely determines the theoretical values of the natural vibration frequencies, vibration velocities, and, consequently.

Keywords: roughing and grinding machine, noise sources, vibration, acoustic model, working area, working conditions, safety.

Введение

Шлифовальные и обдирочно-шлифовальные станки применяются для окончательной обработки разнообразных поверхностей деталей с помощью абразивных кругов, в условиях не только механосборочных цехов, но и сварочно-сборочных, а также в литейном производстве. От общего числа станков для обработки металлов они составляют приблизительно 20%, а на предприятиях с большим объемом выпуска продукции их доля достигает 60% от общего количества станочного оборудования.

При работе рассматриваемых станков, возникают уровни шума, которые выше установленных санитарных нормативов на 5 - 12 дБ в интервале высоких частот от 1000 Гц, вызывая профессиональные заболевания у работников.

Постановка задачи

Аналитический обзор теоретических и экспериментально полученных данных, показал, что в них практически не рассмотрен процесс возбуждения вибраций при шлифовании. Большинство рассматриваемых работ, направлены на изучение акустических параметров, возникающих при работе подшипников качения или работе зубчатых передач, а также на способы уменьшения уровней шума и вибрации до санитарных нормативов, при помощи уменьшения шума корпусных и базовых деталей, заготовок и инструмента [1]. Станкам шлифовальной группы внимание практически не уделено.

Пожалуй, впервые в источнике [2] были разработаны модели акустической динамики процессов внутреннего и наружного круглого шлифования. Используя, данные акустические модели были представлены аналитические зависимости для определения уровней звукового давления, которые создает система «абразивный круг - заготовка - отдельные элементы».

Целью настоящего исследования является построение теоретических моделей шумообразования системы «шлифовальный круг – заготовка» обдирочно-шлифовального станка с последующей разработкой решений, направленных на снижение акустической активности станка.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи исследования:

1. Представить адекватные модели акустической динамики всей рассматриваемой системы «шлифовальный круг - заготовка».

2. Провести теоретическое исследование полученных моделей и вывести аналитические зависимости, позволяющие определить уровни звукового давления, которые возникают при работе отдельных элементов системы, а также всей рассматриваемой системы «шлифовальный круг - заготовка».

1. Теоретическое исследование акустической динамики обдирочно-шлифовального станка

1.1. Звуковое излучение заготовки при обработке на обдирочно-шлифовальном станке

Геометрические параметры заготовок, соответствующие в подавляющем большинстве случаев прямоугольному сечению, а также круглому профилю, позволяют для расчетов спектров шума использовать зависимость (1) звукового давления (P) [1,3]:

$$P = 9,5(f_R Sl)^{0,5} \frac{V_R}{r}, \quad (1)$$

где f_R – собственные частоты колебаний источника, Гц; S – площадь поверхности источника, м²; l – длина источника, м; V_R – скорости колебаний на собственных формах колебаний, м/с; r – расстояние от источника до расчетной точки, м.

Поскольку заготовки устанавливаются на столе станка, то собственные частоты колебаний определяются по данным работ [4] следующей зависимостью:

$$f_R = \frac{1}{2i} \sqrt{\left(\frac{\pi\kappa}{e}\right)^4 \frac{EJ}{\rho F} + \frac{j_{np}}{\rho F}}, \quad (2)$$

где E и J – модуль упругости (Па) и момент инерции заготовки (м⁴); κ – коэффициент, характеризующий собственные частоты колебаний; j_{np} – приведенная жесткость подсистемы «стол-заготовка», Н/м; ρ – плотность материала заготовки, кг/м³; F – площадь поперечного сечения, м².

Тогда для расчета уровней звукового давления получена следующая зависимость (3):

$$L = 20lg \frac{V_R}{r} + 5lg \left[\left(\frac{\pi\kappa}{e}\right)^4 EJ + j_{np} \right] - 5lg \rho F + 10^6, \quad (3)$$

U заготовок квадратного профиля момента инерции определяется как $J = \frac{b^4}{12}$, у заготовок прямоугольного профиля, когда ось ОХ располагается вдоль оси заготовки, моменты инерции в направлении осей ОZ и ОY определяются по формулам:

$$J_z = \frac{b^3h}{12} \text{ и } J_y = \frac{h^3b}{12},$$

b и h – ширина и высота заготовки, м;

у круглых деталей сплошных и полых: $J = \frac{\pi d^4}{64}$ и $J = \frac{\pi}{64}(d^4 - d_0^4)$,

где d и d_0 – наружный и внутренний диаметры заготовки, м.

Расчет скоростей колебаний выполнен на основе подхода к обрабатываемым заготовкам [1] с перемещающейся вдоль изделия технологической нагрузкой. При установке заготовки на столе дифференциальное уравнение колебаний имеет вид:

$$M_0 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + E y_y \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + j_y = P(t) \beta(x - x_0), \quad (4)$$

$$M_0 \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + E y_z \frac{\partial^4 z}{\partial x^4} + j_z = P(t) \beta(x - x_0). \quad (5)$$

Поскольку при обработке заготовка перемещается вручную, т.е. с очень малой скоростью, то при выводе зависимости скоростей колебаний принято допущение о постоянстве координаты приложения силы резания, которая согласно нормативам режимов абразивной обработки определяется по формуле [5]:

где $P(t) = \frac{N \cdot 10^3}{V_p}$; N – мощность резания, Вт; V_p – скорость резания, м/с; d – диаметр круга, мм; n – частота вращения круга, об/мин.

$$N = C_N V t^{x_p} b^{z_p}, \text{ кВт}; P = C_N V t^{x_p} b^{z_p} 10^3 \sin(0,1nk_3t + \phi)$$

t – глубина резания, мм; b – ширина круга, мм; C_N , X_p , Z_p – коэффициенты, задаваемые по таблицам (3); k_3 – коэффициент зернистости круга.

Используя метод разделения, система уравнений (4), после преобразований примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 y}{dt^2} + \left[\frac{E J_y}{\rho F} y_z \left(\frac{k}{l}\right)^4 + \frac{j_n \rho_y}{\rho F} \right] y &= \frac{10^3 C_N t^{x_p} b^{z_p}}{\rho F} \sin(0,1nk_3t + \phi), \\ \frac{d^2 z}{dt^2} + \left[\frac{E J_z}{\rho F} y_z \left(\frac{k}{l}\right)^4 + \frac{j_n \rho_z}{\rho F} \right] z &= \frac{10^3 C_N t^{x_p} b^{z_p}}{\rho F} \sin(0,1nk_3t + \phi) \end{aligned} \quad (6)$$

Решение системы уравнений (6) относительно максимальных скоростей колебаний в направлении осей OX и OY определяется следующим и зависимостями:

$$V_{k_y} = \frac{dy}{dt_{max}} = \frac{2 \cdot 10^2 C_N t^{x_p} b^{z_p} n k_3}{\rho F l} \sum_{k=1}^{k^x} \frac{1}{\frac{E J_y}{\rho F} y z \left(\frac{k}{l}\right)^4 + \frac{j_{np} \rho y}{\rho F} - 0,01 (n k_3)^2} \quad (7)$$

$$V_{k_z} = \frac{dz}{dt_{max}} = \frac{2 \cdot 10^2 C_N t^{x_p} b^{z_p} n k_3}{\rho F l} \sum_{k=1}^{k^x} \frac{1}{\frac{E J_z}{\rho F} y z \left(\frac{k}{l}\right)^4 + \frac{j_{np} \rho y}{\rho F} - 0,01 (n k_3)^2} \quad (8)$$

В формулу уровней звукового давления подставляется значение среднеквадратичной скорости колебаний:

$$V_{k_{max}} = \sqrt{V_{k_{z_{max}}}^2 + V_{k_{y_{max}}}^2} \quad (9)$$

Для деталей, имеющих постоянный момент инерции в направлении осей координат, скорость колебаний определяется не из системы, а из одного дифференциального уравнения.

Например, для детали круглой формы:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \left[6 \frac{E}{\rho} d^2 \left(\frac{k}{l}\right)^4 + \frac{1,3 j_{np}}{\rho d^2} \right] y = \frac{1,3 \cdot 10^3 t^{x_p} b^{z_p}}{\rho d^2} \sin(0,1 n k_3 t + \phi), \quad (10)$$

$$V_k = \frac{1,3 \cdot 10^2 n k_3 t^{x_p} b^{z_p}}{\rho d^2} \sum_1^{k^x} \frac{\cos(0,1 n k_3 t + \phi)}{6 \frac{E}{\rho} d^2 \left(\frac{k}{l}\right)^4 + \frac{1,3 j_{np}}{\rho d^2} - 0,01 n k_3^2}, \quad (11)$$

а для детали квадратной формы:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \left[3 \frac{E}{\rho} d^2 \left(\frac{k}{l}\right)^4 + \frac{j_{np}}{\rho d^2} \right] y = \frac{10^3 t^{x_p} b^{z_p}}{\rho d^2} \sin(0,1 n k_3 t + \phi). \quad (12)$$

Заключение

Результаты расчетов позволяют сделать следующие выводы

1. Полученные зависимости учитывают, все конструктивные, физико-механические параметры источников, а также технологические режимы обработки деталей;
2. Следует отметить, что, только получив возможность произвести теоретический расчет октавных уровней звукового давления и сравнив их со значениями установленных санитарных норм, можно сделать выводы о превышении в рассматриваемых частотных диапазонах;
3. Именно эти данные и позволяют выполнить акустический расчет и компоновку системы шумозащиты на этапе проектирования подобных станков.

Список литературы

1. Новиков В.В., Литвинов А.Е., Солод С.А. Чукарин А.Н. Обеспечение безопасных условий эксплуатации станков пыльной группы/ В.В. Новиков, А.Е. Литвинов, С.А. Солод, А.Н. Чукарин.-Краснодар.-Кубанский социально-экономический институт, 2018.-195С.

2. Чукарин А.Н., Теоретические исследования процессов возбуждения и шумообразования при абразивной обработке сварных швов рамных / А.Н. Чукарина, А.Г. Исаев, А.Е. Шашурин, Ю.И. Элькин // *Noise Theory and Practice*. 2020. Т. 6. № 4 (22). С. 71-8
3. Литвинов А.Е., Чукарин А.Н., Обзор современного состояния конструкций и типов ленточнопильных станков по металлу / А.Е. Литвинов, А.Н. Чукарин А.Н., В сборнике: *Механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции*. 2019. С. 133-141.
4. Beskopylny A., Meskhi B., Chukarin A., Isaev A. Spectral characteristics of noise during hardening of welds of rod structures // В сборнике: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Collection of materials of the International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science (ICMTMTE 2019)*. Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Crimean Federal University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. 2020. С. 044087.
5. Базров Б.М, Справочник технолога-машиностроителя, Том 2. / Б.М. Базров, В.И. Аверченков- Москва. – Машиностроение, 6-е издание, 2018 – 423с.

References

1. Novikov V.V., Litvinov A.E., Solod S.A. Chukarin A.N. Ensuring safe operating conditions for saw group machines / V.V. Novikov, A.E. Litvinov, S.A. Solod, A.N. Chukarin. - Krasnodar. - Kuban Socio-Economic Institute, 2018.-195pp.
2. Chukarin AN, Theoretical studies of the processes of excitation and noise generation during abrasive processing of frame welded joints. Chukarina, A.G. Isaev, A.E. Shashurin, Yu.I. Elkin // *Theory of noise and practice*. 2020.Vol. 6.No. 4 (22). S. 71-8
3. Litvinov A.E., Chukarin A.N., Review of the current state of structures and types of band saw machines for metal / A.E. Litvinov, A.N. Chukarin A.N., In the collection: *Mechanics, equipment, materials and technologies. Electronic collection of scientific articles based on the materials of the international scientific and practical conference*. 2019. 133-141pp.
4. Beskopylny A., Meskhi B., Chukarin A., Isaev A. Spectral characteristics of noise during hardening of welds of rod structures // В сборнике: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Collection of materials of the International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science (ICMTMTE 2019)*. Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Crimean Federal University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. 2020. С. 044087.
5. Bazrov BM, Handbook of a mechanical engineer, Volume 2. / BM. Bazrov and V.I. Averchenkov- Moscow. - Mechanical engineering, 6th edition, 2018 - 423p.