

К.О.Житников
Московский государственный технический университет «Станкин»,
Москва, Россия, imborger1@gmail.com
ООО «Машиностроение», Санкт-Петербург, Россия

ДИАГНОСТИКА МОДЕЛИ ШЛИФОВАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ (АЭ) НА ОСНОВЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ.

Аннотация

В работе рассмотрен процесс трения модели шлифования неизношенным кругом, для моделирования которого проводилась серия трибологических опытов абразивным монокристаллом, и моделирование обработки изношенным кругом, моделирование которого проводилось индентором из материала обрабатываемого образца. А так же проанализирована связь трибологических параметров с параметрами акустической эмиссии (АЭ)

Ключевые слова: акустическая эмиссия, шлифование, силы резания, отношение сигнал/шум, трибология

Введение

Для механической обработки в том числе шлифования существует класс сложнообрабатываемых материалов, в их числе жаропрочные стали с высоким содержанием никеля. Улучшений условий обработки и повышения эффективности можно добиться подбором абразивного инструмента и типа СОЖ.

Методика эксперимента

В рамках эксперимента была проведена серия опытов для моделирования процесса контакта абразивных частиц шлифовального круга при трении по образцу. Трение проводилось по прямоугольному образцу из жаропрочного железохромоникелевого сплава ЭП718(ХН45МВТЮБР). Для моделирования обработки неизношенным кругом использовались сферы диаметром 6 мм из монокристаллов оксида алюминия Al_2O_3 , симуляция же трения засаленным кругом осуществлялась индентором из того же материала что и образец с углом заточки 100 градусов.

Исследования выполнялись на универсальном трибометре Nanovea TRB 50N (США) при трибологических испытаниях по возвратно-поступательной схеме (ASTM G133) с длиной хода индентора 15 мм до достижения 100 м пути трения (рисунок 1а). Исследования проводились при следующих условиях: нагрузка на индентор 20 и 40Н, и скоростью 157 и 236 при частоте вращения привода 200 и 300 об/мин соответственно, температура образца +22, использовались четыре условия смазывания.

Трибологические испытания проводились при температуре и относительной влажности окружающего воздуха в помещении, соответственно, +(22,0±3,0) °С и (64,0±3,0) %. Температура и влажность окружающего воздуха контролировалась по психрометрическому гигрометру ВИТ-2 ТУ 25-11.1645-84 (Россия).

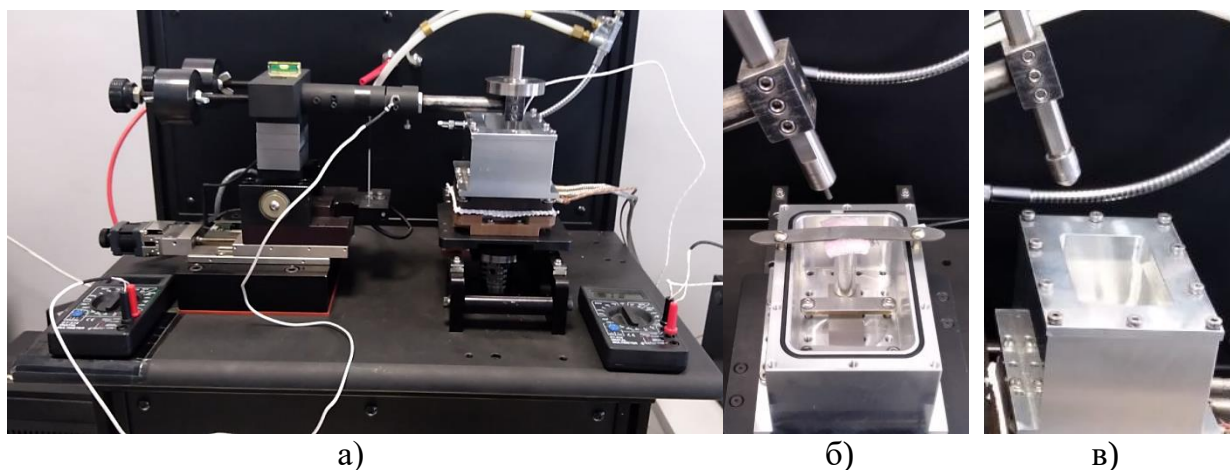


Рисунок 1 – Общий вид трибометра с нагревательным модулем (а) и способы крепления инденторов перед наполнением ванны смазочным материалом в испытаниях по схеме «металл-металл» (б) и «абразив-металл» (в). Схема установки и крепления образца и преобразователя АЭ в ванне показана на рисунке (б)

Были подобраны результаты опытов для проведения оценки значимости по методу Тагути, как для опытов трения «металл-абразив», так и для «металл-металл». Условия проведения исследования в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица параметров подобранных для анализа.

Контролируемые параметры			
Условия смазывания	N, Н	w, мм/с	t, °C
PM	20	157	22
PM	40	236	22
PM + nBN	20	157	22
PM + nBN	40	236	22
Э	20	157	22
Э	40	236	22
Э + nBN	20	157	22
Э + nBN	40	236	22

В процессе проведения снимались трибологические параметры (μ_{cp} – средний коэффициенты трения, μ_{max} - максимальный коэффициенты трения; j - интегральный износ образца и индентора), объемные характеристики (V_o - объемный износ образца и V_o - объемный износ индентора) и АЭ параметры (A - амплитуда сигнала АЭ; σ_{rms} -среднеквадратичное значение сигнала АЭ; E - энергия сигнала АЭ; S - сила сигнала АЭ; C - количество выбросов в АЭ сигнале; R - время нарастания сигнала АЭ.)

коэффициент трения (μ), как:

$$\mu = F / N \quad (1)$$

вычислялся средний (μ_{cp}) и максимальный (μ_{max}) коэффициенты трения, как:

$$\mu_{cp} = \sum | \mu | / t \quad (2)$$

, где: t – количество значений μ выбранных для расчета (7)

$$\mu_{max} = \max \{ | \mu | \} \quad (3)$$

В работе оценивалась максимальный интегральный износ, как:

$$j_{min} = \min \{ j \} \quad (4)$$

Объёмный износ индентора ($V_{и}$, мм³). Определяется по ASTM G133 следующим образом: с помощью измерительной лупы или микроскопа оцениваем эквивалентный диаметр пятна износа индентора (d, мм).

$$d = (d_1 + d_2)/2 \quad (5)$$

где: d_1 и d_2 – диаметры пятна износа измеренные в диаметрально противоположных направлениях.

Далее в зависимости от формы индентора считаем объемный износ:

- *сферический индентор*:

$$V_{\text{и}} = (\pi \cdot h/6) \cdot [(3 \cdot d^2/4) + h^2] \quad (6)$$

где: d – эквивалентный диаметр пятна износа, r – радиус при вершине скругления индентора (принимался равным $r = 3,0$ мм), h – высота удаленной части сферы находится из выражения:

$$h = r - [r^2 - (d^2/4)]^{1/2} \quad (7)$$

- *конический индентор*:

$$V_{\text{и}} = (1/3) \cdot S \cdot H \quad (8)$$

где: S – площадь основания; H – высота конуса, где α – половина угла при вершине конуса. При $\alpha = 45$ град, $H = (d/2)$.

Объёмный износ образца (V_o , мм³) определялся с помощью профилографа в 3-х сечениях. Затем считается площадь потерянного металла в каждом сечении и определяется среднее сечение (S_{cp} , мм²). Тогда

$$V_o = S_{cp} \cdot H \quad (9)$$

, где: H – длина дорожки трения, $H = 15$ мм.

- амплитуда АЭ (A):

$$A = \max \{ |a(t)| \} \quad (10)$$

, где: $a(t)$ – оцениваемый фрагмент записи АЭ длительностью t ; (1)

- среднеквадратичное значение сигнала АЭ (a_{rms}):

$$a_{rms} = [\sum a(t)^2 / l]^{0,5} \quad (11)$$

где: l – количество отсчетов в фрагменте записи АЭ

- энергия сигнала АЭ (E):

$$E = \sum a(t)^2 \quad (12)$$

- сила сигнала АЭ (S) – параметр используемый только в аппаратуре Physical Acoustics Corporation (США) рассчитываемый по формуле [12]:

$$S = 0,5 \sum [a(t)_+] - 0,5 \sum [a(t)_-] \quad (13)$$

, где: $[a(t)_+]$ и $[a(t)_-]$ соответственно положительные и

отрицательные составляющие оцениваемого фрагмента записи АЭ длительностью t ; (4)

- количество выбросов в АЭ сигнале (C):

$$C = \sum n \quad (14)$$

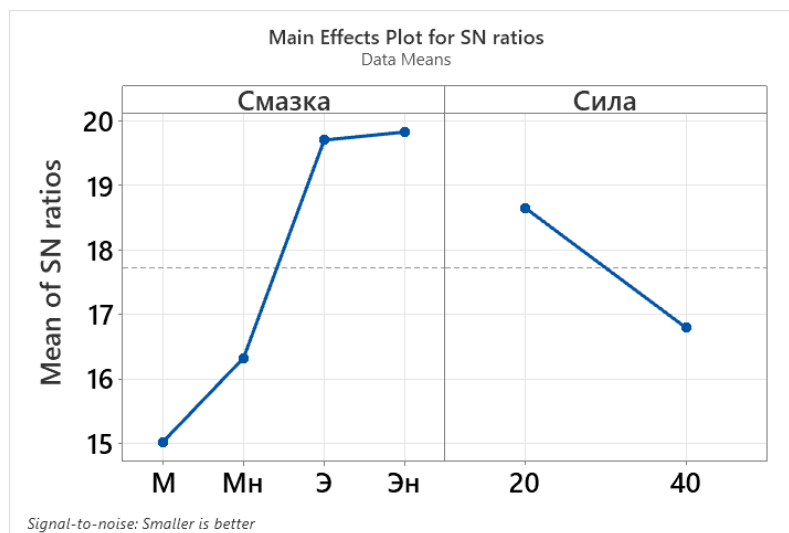
, где: n – единичное превышение сигналом уровня порога;

- время нарастания сигнала АЭ (R) – время от начала сигнала АЭ до достижения максимальной амплитуды.

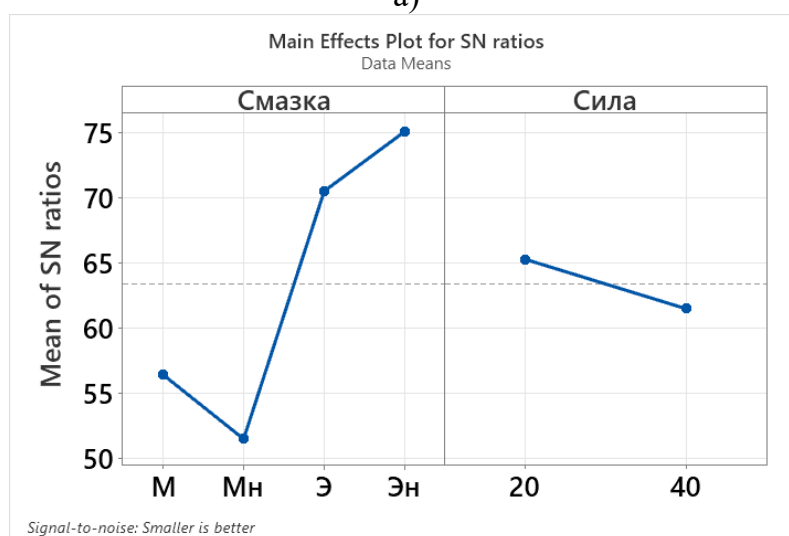
Оценку значимости влияния режимов и условий обработки определяли по максимальному отношению сигнала к шуму (S/N) для соответствующего параметра. В связи с тем, что была поставлена задача поиска минимальных оптимальных характеристик использовали расчет по принципу «меньше - лучше», по следующей зависимости для вычисления соотношения S/N Тагути:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (15)$$

где y_i - среднее значение измеренных значений отклика переменной i -го эксперимента и n - количество экспериментов на определенном уровне управляющего фактора в ортогональной матрице. Отрицательный знак гарантирует, что наибольшее значение дает оптимальное значение переменной отклика (рис 2).



а)



б)

Рисунок 2 – График основного эффекта отношения S/N для пары абразив-металл а) для параметра $\mu_{\max}$ коэффициент трения; в) для параметра объемный износ индентора $V_{\text{и}}$;

Результаты работы и обсуждение

В исследовании были проанализированы различные режимы трения в условии имитации процесса шлифования. Данные показывают, что использования параметров АЭ в качестве диагностики износа шлифовального круга, позволяет с достаточной точностью определять его состояние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Application of acoustic emissions in machining processes: analysis and critical review / Kishawy H. A., Hegab H., Umer U. et al. // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. Vol.98. P.1391–1407. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2341-y>
2. Zylka, L., Burek, J., Mazur, D. Diagnostic of peripheral longitudinal grinding by using acoustic emission signal // Advances in Production Engineering & Management, Vol. 12, No. 3. P. 221-232, <https://doi.org/10.14743/apem2017.3.253>
3. Grinding Burn Detection Based on Cross Wavelet and Wavelet Coherence Analysis by Acoustic Emission Signal. / Gao, Z., Lin, J., Wang, X. et al. // Chin. J. Mech. Eng. 2019. Vol. 68. <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0384-0>

4. Sutowski P., Plichta S. An investigation of the grinding wheel wear with the use of root-mean-square value of acoustic emission // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2006. Vol. 6. P. 87-98. [https://doi.org/10.1016/S1644-9665\(12\)60078-8](https://doi.org/10.1016/S1644-9665(12)60078-8).
5. Modeling of acoustic emission based on the experimental and theoretical methods and its application in face grinding / Li, J., Wang, X., Shen, N. et al. // Int J Adv Manuf Technol. 2018. Vol.98. P. 2335–2346. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2383-1>
6. Chien-Sheng L., Yang-Jiun O. Grinding Wheel Loading Evaluation by Using Acoustic Emission Signals and Digital Image Processing // Sensors. 2020. 20.4092; doi:10.3390/s20154092
7. ASTM G133-22. Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear: International standards / American Society for Testing and Materials, 2022.
8. ASTM G40-01. Standard Terminology Relating to Wear and Erosion: International standards / American Society for Testing and Materials, 2001.
9. ГОСТ 27674-88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения: национальный стандарт Российской Федерации / Комитет стандартизации и метрологии. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2013.
10. Rastegaev, I.A. Evaluating the Probability of Detecting Acoustic Emission Signals Using the Amplitude Discrimination Method with a Low Signal-to-Noise Ratio / I.A. Rastegaev, I.S. Yasnikov, I.I. Rastegaeva, E.A. Agletdinov, D.L. Merson // Russian Journal of Nondestructive Testing, 2022. – 58(3). – С. 157–166.
11. Rastegaev, I.A. Real time acoustic emission methodology in effective tribology testing / I.A. Rastegaev, D.L. Merson, A.Yu. Vinogradov //International Journal Microstructure and Materials Properties, 2014 – Vol. 9 – № 3/4/5 – p. 360-373.
12. Using acoustic emission signal categorization for reconstruction of wear development timeline in tribosystems: Case studies and application examples / I.A. Rastegaev, D.L. Merson, A.V. Danyuk, M.A. et al. // Wear. 2018. Vol. 410–411. P. 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.06.006>.
13. Mitrofanov, A.P., Parsheva, K.A., Zhivnitsky, S.A. Minimum-Quantity Lubrication Systems with Additional Air Cleaning of the Grinding Wheel Surface // Russ. Engin. Res. 2022. Vol.42. P. 468–472. <https://doi.org/10.3103/S1068798X22050203>
14. Митрофанов А. П., Носенко В. А. Исследование технологии микродозированной подачи смазочных композиций с наночастицами при шлифовании жаропрочного никелевого сплава с дополнительным воздушным охлаждением // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2019. Т. 21. № 4. С. 6–18. doi: 10.17212/1994-6309-2019-21.4-6
15. Abubakra, M. Sensors selection for tool failure detection during machining processes: A simple accurate classification model / M. Abubakra, M. A. Hassanb, G. M. Krolczyk et al. // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2021. – 32. – С. 108–119.

K.O.Zhitnikov

Moscow State Technical University ‘Stankin’, Moscow, Russia , imborger1@gmail.com
 LLC ‘Mashinostroenie’, Saint-Petersburg, Russia

DIAGNOSTICS OF GRINDING MODEL BY MEANS OF ACOUSTIC EMISSION (AE) PARAMETERS ON THE BASIS OF TRIBOLOGICAL TESTS.

Abstract

The paper considers the friction process of a grinding model with an unworn wheel, for modelling of which a series of tribological tests with an abrasive monocrystal was carried out, and modelling of machining with a worn wheel, modelling of which was carried out with an indenter from the material of the machined sample. The relationship between tribological parameters and acoustic emission (AE) parameters has been analysed.

Keywords: acoustic emission, grinding, cutting forces, signal-to-noise ratio, tribology.