

УДК 621.922.3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО УРОВНЯ ВИБРОСКОРОСТИ КОЛЕБАНИЙ АБРАЗИВНО-ОТРЕЗНОГО КРУГА

**Н. А. СТАРОВОЙТОВ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

### Введение

В работе [1] приведена формула математической модели износа абразивно-отрезного круга, которая определяет зависимость основного критерия – скорости износа абразивно-отрезных кругов, от соотношения частоты колебаний и частоты вращения круга, скорости подачи, амплитуды колебаний и угла поворота круга.

Известно [2]–[5], что при определенной скорости резания  $v_k$  существует диапазон подач  $v_n$ , внутри которого имеется оптимальная подача круга  $v_{n,о}$ , соответствующая максимальному коэффициенту шлифования  $G$ . Имеется также нижний предел, при котором начинается термическое разрушение круга, и верхний, при котором наступает объемное разрушение зерен или вырывание целыми их из связки из-за недостаточного пространства для размещения стружки. Отрицательное влияние вынужденных гармонических и собственных автоколебаний на стойкость шлифовальных кругов приведено в работах [6], [7].

Целью работы является определение допустимого уровня виброскорости колебаний абразивно-отрезного круга  $A_v$  от зернистости круга  $e$  при различных режимах резания.

### Основная часть

**Постановка задачи, методика расчетов.** При подачах ниже нижнего предела  $v_{n,п}$  преобладает повышенное трение зерен о разрезаемый металл, самозатачивание отсутствует, в результате чего резко повышается температура в зоне резания, разрушается связка круга и наблюдается быстрый температурный его износ. При подачах выше верхнего предела подачи  $v_{n,в}$  наблюдается объемное разрушение зерен из-за нагрузок на зерно выше допустимого [8]. Здесь же приведена формула зависимости нагрузки на зерно  $F_3$  от скорости резания  $v_k$ , скорости подачи  $v_n$ , удельной энергии резания  $u$  и количества режущих зерен  $c$  на единицу режущей поверхности круга:

$$F_3 = v_n / v_k \cdot u / c. \quad (1)$$

Отсюда  $v_n$  будет равна:

$$v_n = F_3 v_k c / u. \quad (2)$$

Численное значение  $u$  приведено в работе [8], а численное значение  $c$  для кругов различной зернистости – в работе [9].

Согласно уравнений, приведенных в работе [9], нижний предел нагрузки на зерно для электрокорунда, соответствующий началу его самозатачивания  $F_{3,н}$ , и верхний, соответствующий началу объемного разрушения  $F_{3,в}$ , будут, соответственно, равны:

$$F_{3,н} = 0,63d_3^{0,5}; \quad (3)$$

$$F_{3,в} = 5,6d_3 + 0,58d_3^2, \quad (4)$$

где  $d_3$  – диаметр абразивного зерна.

Тогда в соответствии с (2) нижний и верхний пределы подачи будут равны:

$$v_{п,н} = F_{3,н} v_k c/u; \quad (5)$$

$$v_{п,в} = F_{3,в} v_k c/u. \quad (6)$$

С другой стороны, при наличии колебаний круга, чтобы избежать нагрузок на зерно выше критических, верхний предел подачи должен быть меньше или равен  $v_{п} + A_{vy}$ :

$$v_{п,в} \leq v_{п} + A_{vy}, \quad (7)$$

где  $A_{vy}$  – максимальное значение виброскорости круга по оси  $y$ , совпадающей с направлением подачи круга, которая будет равна:

$$A_{vy} = 2\pi a_{ky} f_k, \quad (8)$$

где  $a_{ky}$  – амплитуда виброперемещения круга по оси  $y$ ;  $f_k$  – частота колебаний круга.

Чтобы избежать температурного износа круга, нижний предел подачи должен быть равен или больше  $v_{п} - A_{vy}$ :

$$v_{п,н} \geq v_{п} - A_{vy}. \quad (9)$$

Если учесть, что кривая зависимости коэффициента шлифования  $G$  от величины подачи  $v_{п}$  имеет один максимум и симметрична относительно оси ординат, проходящей через его вершину [8], то можно допустить, что оптимальная подача круга  $v_{п,о}$  будет лежать между  $v_{п,н}$  и  $v_{п,в}$  и равноудалена от них.

Тогда предельно допустимая виброскорость круга  $A_{vyд}$  будет равна:

$$A_{vyд} = (v_{п,в} - v_{п}) + (v_{п} - v_{п,н}). \quad (10)$$

Для уменьшения износа абразивно-отрезных кругов важно знать, какой зернистости круги допускают более высокую виброскорость.

На рис. 1 приведены графики результатов теоретических расчетов нижнего  $v_{п,н,р}$  (кривая  $а$ ) и верхнего  $v_{п,в,р}$  (кривая  $б$ ) пределов подач для абразивно-отрезных кругов различной зернистости  $e$  из электрокорунда белого по формулам (5), (6). В связи с тем что в формулах (5), (6) отсутствует прямая зависимость  $v_{п,н,р}$  и  $v_{п,в,р}$  от  $e$ , воспользуемся источником [9], где для исследуемой нами зернистости  $e$  приведены соответствующие значения  $c$ .

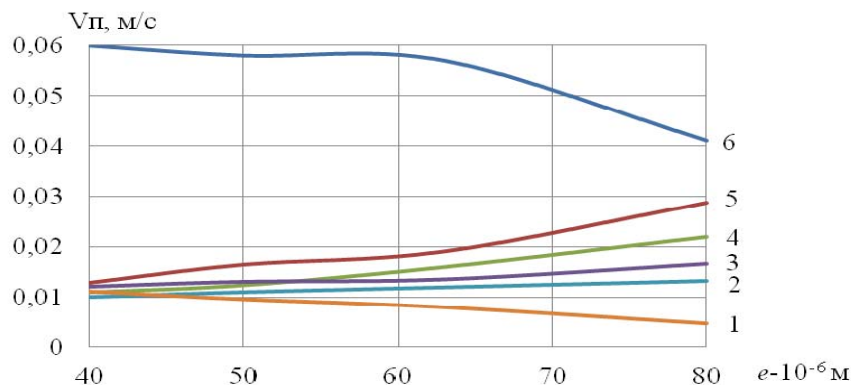


Рис. 1. Зависимость 1 –  $v_{п.в.э}$ ; 2 –  $v_{п.о.э}$  при  $b = 0,06$ ; 3 –  $v_{п.в.э}$  при  $b = 0,04$ ; 4 –  $v_{п.о.э}$  при  $b = 0,06$ ; 5 –  $v_{п.в.э}$  при  $b = 0,04$ ; 6 –  $v_{п.в.э}$  от зернистости круга  $e$

Из графиков видно, что с уменьшением зернистости круга нижний и верхний пределы расчетной подачи увеличиваются, что вызвано ростом количества зерен на единицу площади и уменьшением удельной энергии резания. Расчетная схема по предельным нагрузкам на зерно построена по результатам резания одним зерном [9].

В связи с этим, исходя из опыта, можно предположить, что оптимальная величина подачи и верхний ее предел будут лежать значительно ближе к кривой 1. Для проверки этой гипотезы был проведен ряд экспериментальных исследований.

**Экспериментальные исследования.** Для определения оптимальной подачи на станке мод. 8В242 разрезались заготовки в виде полосы шириной  $b = 0,02$ ;  $0,04$  и  $0,06$  м из стали 45 кругами марки 41-400х4х32 14А 40-Н 41-43 ВФ; 41-400х4х32 14А 50-Н 41-43 ВФ; 41-400х4х32 14А 63-Н 41-43 ВФ; 41-400х4х32 14А 80-Н 41-43 ВФ; ГОСТ 21963–2002 со скоростью резания  $80$  м/с без охлаждения. При этом частота вращения круга была равна  $64$  с<sup>-1</sup>, а частота вращения электродвигателя  $56$  с<sup>-1</sup>. Чтобы избежать влияния уменьшения скорости резания на скорость износа, круги изнашивались на незначительную величину не более  $5\%$  от максимального диаметра. Полученные экспериментальным путем величины оптимальных подач  $v_{п.о.э}$  для различной зернистости и  $e$ , длины и дуги контакта  $b$  использованы при построении графиков рис. 1.

Кривая 2 отражает зависимость оптимальной подачи  $v_{п.о.э}$ , полученной экспериментальным путем; кривая 3 – верхнего ее предела  $v_{п.в.э}$  от зернистости круга при длине контакта равной  $b = 0,06$  м. Кривая 4 отражает зависимость оптимальной подачи  $v_{п.о.э}$ , полученной экспериментальным путем; 5 – верхнего ее предела  $v_{п.в.э}$  от зернистости круга при длине дуги контакта равной  $0,04$  м. Таким образом, на рис. 1 можно выделить три зоны:

*зона 1* – повышенного износа, вызванного неблагоприятным температурным режимом, расположена ниже кривой 1 и при экспериментальных исследованиях хорошо совпадает с теоретическими расчетами;

*зона 2* – минимального износа круга, расположена между кривыми 1 и 4 для длины дуги контакта  $b = 0,06$  м и кривыми 1 и 5 для длины дуги контакта  $b = 0,04$  м;

*зона 3* – повышенного износа, вызванного недостаточностью пространства между зернами для размещения стружки и превышением допустимой нагрузки на зерно, расположена выше кривой 4 для  $b = 0,06$  м и выше кривой 5 для  $b = 0,04$  м.

На рис. 2 приведен график зависимости допустимой виброскорости круга, рассчитанной, исходя из экспериментальных данных, от зернистости круга для длины дуги контакта круга с заготовкой равной  $b = 0,06$  м, при самой неблагоприятной для износа круга частоте колебаний круга 56 Гц [1], не равной частоте его вращения.

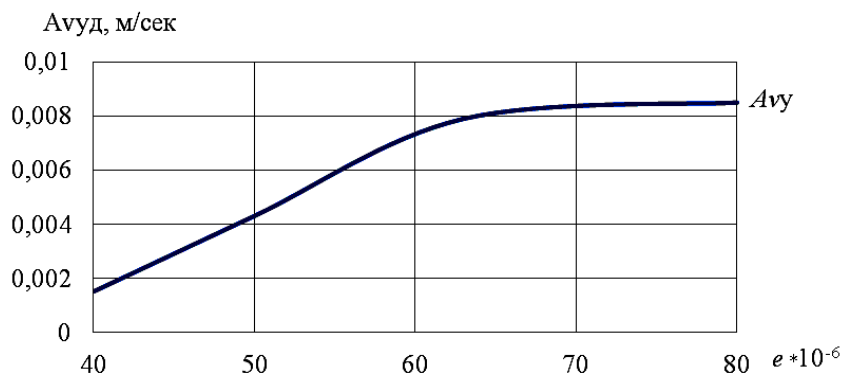


Рис. 2. Зависимость виброскорости  $A_{вуд}$  от зернистости круга  $e$

На основании анализа графика можно сделать выводы, что с увеличением зернистости круга с 40 до  $80 \cdot 10^{-6}$  м предельно допустимая виброскорость возрастает в 5,6 раза.

На рис. 3 приведены зависимости предельно допустимой виброскорости круга зернистостью 80 от скорости резания, скорости подачи и длины дуги контакта.

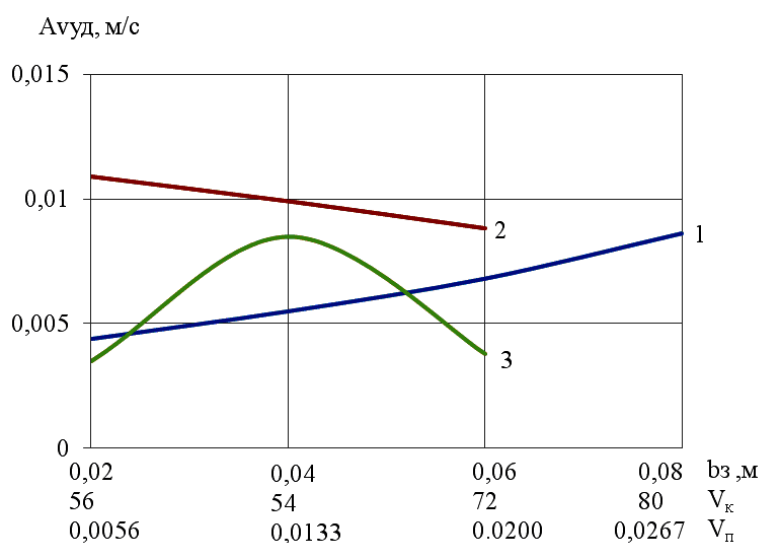


Рис. 3. Зависимость предельно-допустимой виброскорости круга зернистостью  $e = 80$ :  
 1 – от скорости резания  $v_k$  при  $v_n = v_{н.о} = 0,0133$  м/с,  $d_s = 0,06$  м; 2 – от длины дуги контакта  $b_z$  при  $v_k = 80$  м/с; 3 – от скорости подачи  $v_n$  при  $v_k = 80$  м/с и  $d_s = 0,06$  м

Из анализа графиков можно сделать нижеследующие выводы.

При увеличении скорости резания (кривая 1) в 1,4 раза предельно допустимая виброскорость возрастает в 1,95 раза.

С увеличением длины дуги контакта (кривая 2) в 3 раза предельно допустимая виброскорость уменьшается в 1,23 раза.

В пределах изменения величины подачи круга (кривая 3) предельно допустимая виброскорость имеет максимум при оптимальной подаче равной  $v_n = v_{n.o} = 0,0133$  м/с. При уменьшении или увеличении рабочей подачи круга относительно оптимальной подачи круга приводит к резкому снижению предельно допустимой виброскорости.

#### Заключение

На основании проведенных экспериментальных исследований и теоретических расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Для абразивно-отрезных кругов зернистостью  $40-80 \cdot 10^{-6}$  м определена предельно допустимая виброскорость, что позволяет сформулировать требования к гидромеханической системе абразивно-отрезных станков.

2. С ростом зернистости круга возрастает предельно допустимая его виброскорость. Для кругов более высокой зернистости характерно уменьшение их износа.

3. Для определенной скорости резания, зернистости круга и длины дуги контакта существует оптимальная подача, при которой коэффициент шлифования и предельно допустимая виброскорость будут максимальными.

4. Для определенной зернистости круга с увеличением скорости резания предельно допустимая виброскорость круга возрастает, а с увеличением длины контакта – уменьшается.

#### Литература

1. Старовойтов, Н. А. Математическое моделирование процесса износа абразивно-отрезных кругов при гармонических колебаниях / Н. А. Старовойтов // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2015. – Т. 20, № 2. – С. 41–45.
2. Коротков, В. А. Повышение эксплуатационных возможностей отрезных шлифовальных кругов на основе использования зерен с контролируемой формой и ориентацией : автореф. ... дис. канд. техн. наук / В. А. Коротков. – Томск, 2008. – 25 с.
3. Коротков, В. А. Повышение эксплуатационных возможностей отрезных шлифовальных кругов : монография / В. А. Коротков. – М. : Машиностроение, 2009. – 178 с.
4. Дроздов, Ф. Н. Абразивная резка материалов в машиностроении / Ф. Н. Дроздов, Г. Ф. Володько. – М. : Машиностроение, 1980. – 48 с.
5. Farmer, D. A. Economics of the Abrasive Cut-Off Operationen / D. A. Farmer, M. C. Shaw. – Trans. ASME. – Vol. B89. – 1967. – P. 514.
6. Захейзин, А. М. Определение износа шлифовального круга по параметрам вибрации станка / А. М. Захейзин, Т. В. Малышева // Вестн. Южно-Урал. гос. ун-та. – 2007. – № 11. – С. 17–23.
7. Polacek, M. Selbsterregte Schwingungen beim Schleifen / M. Polacek, L. Pluchar. – Maschinenmarkt, 1964. – № 11. – S. 25–32.
8. Shaw, M. C. Mechanics of the Abrasive Cut-off Operation / M. C. Shaw, D. A. Farmer, K. Nakayama. – Trans. ASME, 1967. – Vol. B89. – P. 495.
9. Лурье, Г. Б. Шлифование металлов / Г. Б. Лурье. – М. : Машиностроение, 1969. – 172 с.

Получено 15.09.2016 г.