УДК 621.922.3

Н. А. Старовойтов, Е. Н. Демиденко, С. И. Красюк

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА АБРАЗИВНО-ОТРЕЗНЫХ КРУГОВ И ВИБРОСКОРОСТИ ИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РЕЗАНИЯ

UDC 621.922.3

N. A. Starovoytov, E. N. Demidenko, S. I. Krasyuk

INVESTIGATION OF WEAR OF ABRASIVE CUT-OFF WHEELS AND VIBRATION VELOCITY OF THEIR OSCILLATIONS UNDER DIFFERENT CUTTING CONDITIONS

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Аннотация

Приведены результаты экспериментальных исследований износа абразивно-отрезных кругов и виброскорости их колебаний при различных режимах резания. Установлено, что процесс резания недостаточно демпфирует колебания абразивно-отрезного круга, упругая гидромеханическая система станка обладает недостаточной виброустойчивостью, в результате чего его виброскорость при резании превышает допустимые пределы. Для повышения эффективности процесса резания необходимы более глубокое исследование упругой гидромеханической системы станка и разработка мероприятий по увеличению виброустойчивости.

Ключевые слова:

абразивно-отрезной круг, коэффициент шлифования, виброскорость.

Abstract

The paper presents the results of experimental studies of wear of abrasive cut-off wheels and the vibration velocity of their oscillations under different cutting modes. It is established that the cutting process does not damp oscillations of the abrasive cut-off wheel sufficiently, and the elastic hydromechanical system of the machine has insufficient vibration resistance, as a result of which its vibration velocity during cutting exceeds the permitted limits. To improve the efficiency of the cutting process, a deeper study of the elastic hydromechanical system of the machine is required, as well as the development of measures to increase vibration resistance.

Key words:

abrasive cutting wheel, grinding ratio, vibration velocity.

Введение

В абразивной разрезке имеющиеся работы главным образом направлены на изучение зависимости износа абразивно-отрезных кругов от режимов резания без учета влияния колебаний на их износ [1]. В [2] дана формула математической модели износа абразивно-отрезного круга, которая определяет зависимость основного критерия эффективности процесса резания, скорости износа круга, от соотношения частоты колебаний и частоты вращения, скорости подачи, амплитуды колебаний и угла поворота круга. В [3] для абразивно-отрезных кругов зернистостью в диапазоне $(40\ldots80)\cdot10^{-6}$ м приведена предельно допустимая виброскорость, что позволяет правильно сделать выбор круга определенной зернистости по критерию наибольшей эффективности

© Старовойтов Н. А., Демиденко Е. Н., Красюк С. И., 2018

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

процесса резания.

Исследования проводились на абразивно-отрезном станке мод. 8В242 в лаборатории СКБ ОЦ ОАО «СтанкоГомель».

При резании абразивными кругами круглых заготовок на протяжении реза длина дуги контакта круга с заготовкой меняется в широких пределах, круг работает в активном режиме самозатачивания в широком диапазоне подач и частот вращения. В связи с этим без изучения влияния режимов резания на интенсивность колебаний круга и его износ невозможно в дальнейшем правильно разработать мероприятия, направленные на улучшение динамических характеристик гидромеханической системы станка с целью повышения ее виброустойчивости.

Целью работы является исследование износа абразивно-отрезных кругов и виброскорости их колебаний при различных режимах резания.

Постановка задачи, методика исследования

Исследования проводились на абразивно-отрезном станке мод. 8В242 с качающейся шпиндельной бабкой и регулируемым главным электроприводом ЭКТ-63/380-У4 для поддержания постоянной скорости резания (рис. 1). На шпинделе были установлены шкив с числом зубьев 26 и абразивно-отрезной круг 41–400х4х32 14А 80–Н 41–43ВF ГОСТ 21963–2002, а на валу электродвигателя – шкив с числом зубьев 41. Привод круга осуществлялся плоскозубчатым ремнем.

Для определения характера пространственного перемещения корпуса шпиндельной бабки на холостом ходу и в работе с помощью виброизмерительной многоканальной аппаратуры ВМ-1 с индуктивными датчиками МВ-27 производились замеры виброперемещения шпинделя в точках *1*, *4*, призм в точке *5*, виброскорости шпинделя в точке *1* относительно призм в точке *5* и корпуса качалки в точке *2*. Анализатор осциллограмм построен на базе компьютерного комплекса, включающего в себя многоканальные устройства преобразования аналогового сигнала в цифровой (АЦП) с дальнейшим анализом с помощью программы «Visual Analyzer 1.3», работающей в среде Windows.

Измерения показывают, что амплитуда виброскорости заготовки, закрепленной в призмах в точке *5*, в направлении подачи круга по оси *y* в 12…15 раз меньше по сравнению с амплитудой виброскорости шпинделя в точке *1* и синфазная с ней. Величина виброскорости заготовки в направлении, перпендикулярном направлению подачи по оси *z*, в 1,5…2 раза меньше виброскорости шпинделя в этом направлении и также синфазная с ней.

Толщина срезаемого слоя по оси *z* приблизительно в 19…21 раз меньше толщины срезаемого слоя по оси *y* при равенстве амплитуд виброперемещения a_{ky} и a_{kz}.

Изменение скорости резания в диапазоне v_k = 50…80 м/с при наибольшей амплитуде колебаний по оси *z* A_{kz} = $100 \cdot 10^{-6}$ м и частоте колебаний круга f_k = 126 Гц не превышает 0,1 %. В связи с этим влиянием колебаний призм по осям *y* и *z* и шпинделя по оси *z* на изменение средней толщины срезаемого слоя и скорости резания можно пренебречь.

Анализ кривой *1* (рис. 2) зависимости виброскорости A_{vy} от частоты вращения круга n_k на холостом ходу показывает, что имеется резкое возрастание амплитуды виброскорости шпинделя относительно призм на частотах его вращения в диапазонах 50…60, 70…80 и 120…130 $с^{-1}$. С увеличением подачи круга амплитуда виброскорости на частотах в диапазоне 70…80 Гц возрастала.

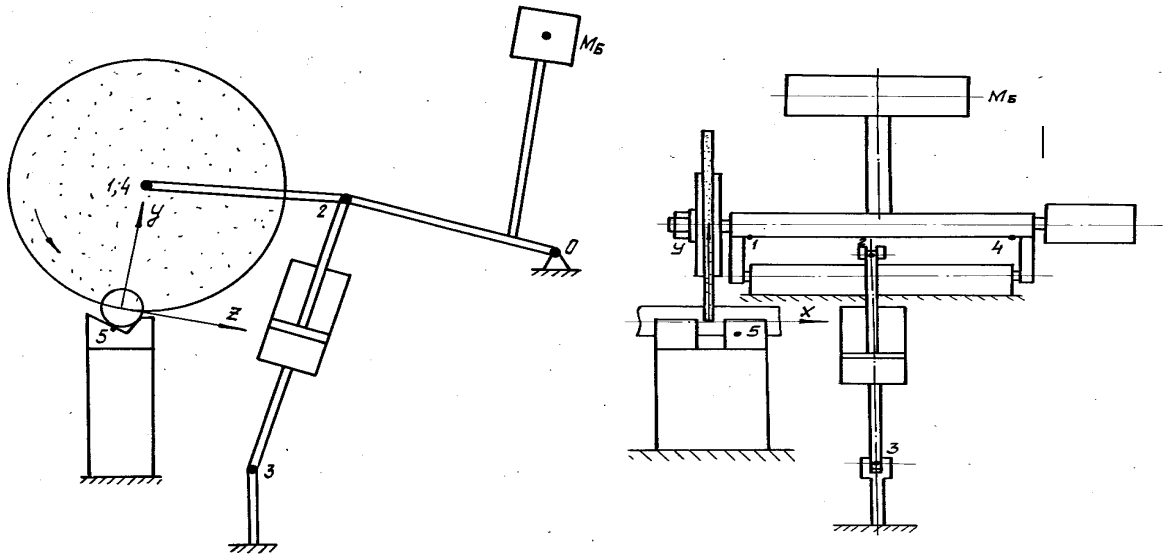

Рис. 1. Схема расположения точек измерения на абразивно-отрезном станке мод. 8В242

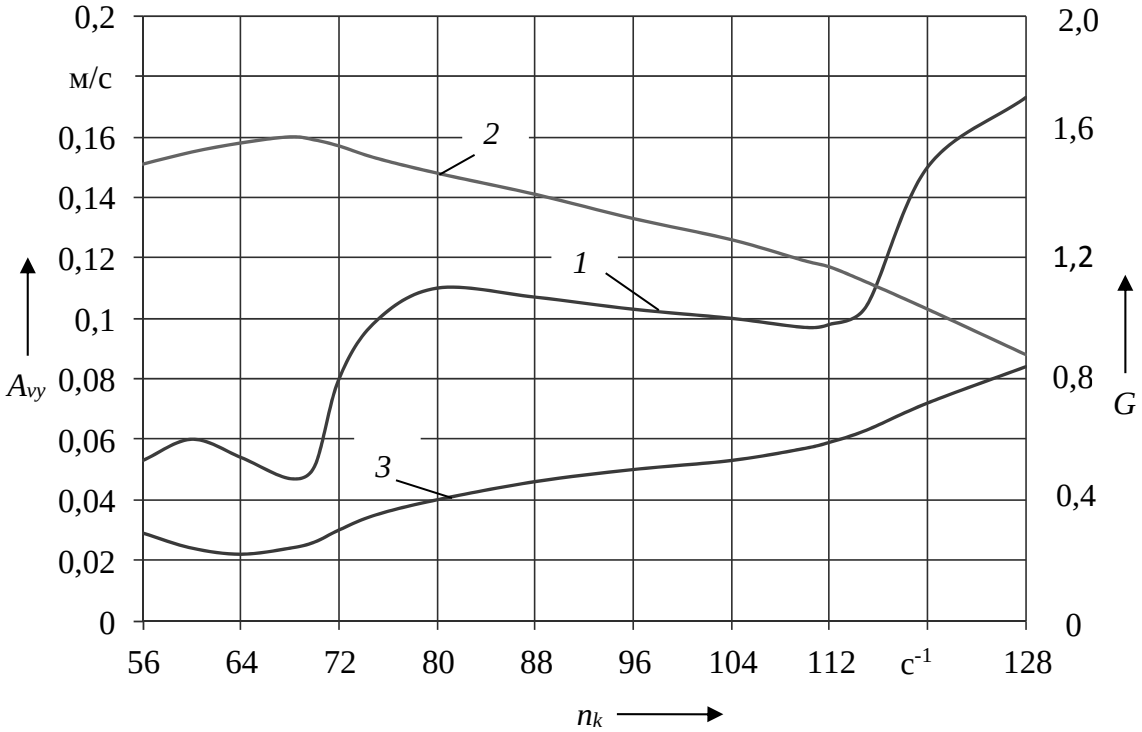

Рис. 2. Зависимость амплитуды виброскорости круга A_{vy} на холостом ходу (*1*), коэффициента шлифования *G* (*2*), амплитуды виброскорости круга A_{vy} (*3*) от частоты вращения круга n_k при разрезании полосы $b_з$ = 0,06 м из стали 35 со скоростью подачи v_n = 0,0134 м/с и скоростью резания v_k = 80 м/с без охлаждения

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Шпиндель имел наибольшую амплитуду виброскорости относительно корпуса качалки в диапазоне частот 60…80 $с^{-1}$, а корпус качалки – в диапазоне частот 120…130 $с^{-1}$.

При анализе зависимости виброскорости A_{vy} (рис. 1, кривая *3*) и коэффициента шлифования *G* (отношение объема срезаемого металла к объему изношенного абразива, кривая *2*) от частоты вращения круга n_k при постоянных скорости резания v_k и подаче v_n можно сделать выводы, что на определяющих критических частотах вращения круга f_k = 58 $с^{-1}$ и f_k = 126 $с^{-1}$ вынужденные колебания шпинделя соответственно меньше в 3,3 и 2 раза по сравнению с колебаниями на холостом ходу (кривая *3*) за счет демпфирования силами резания, но превышают предельно допустимую виброскорость [3]. Можно также отметить, что замкнутая гидромеханическая упругая система станка обладает низкой виброустойчивостью, что значительно уменьшает коэффициент шлифования и эффективность процесса резания. Необходимо более глубокое всестороннее исследование причин такой ее низкой виброустойчивости.

При абразивной разрезке стали 35 кругами 41–400x4x32 14А 80–Н 41–43ВF ГОСТ 21963–2002 со скоростью резания 80 м/с без охлаждения постоянная демпфирования процесса резания по оси *y* на несколько порядков ниже, например, по сравнению с постоянной демпфирования при точении, и равна T_{hp} = (0,3…3,0) · 10^{-8} с. Коэффициент резания по оси *y* при абразивной разрезке равен k_{py} = (12…13) · 10^{-6} Н/м и более чем в 3 раза превышает коэффициент резания при точении. Но несмотря на это, демпфирование силами резания при абразивной разрезке мало, а суммарная демпфирующая способность упругой системы при резании всего в 2…5 раз выше демпфирующей способности без сил резания.

Ввиду этого вынужденные колебания при абразивной разрезке слабо демпфируются силами резания по сравнению с точением, что, очевидно, связано с работой круга в режиме интенсивного самозатачивания и низкой виброустойчивостью упругой гидромеханической системы.

Анализ зависимости (рис. 3, кривая *1*) виброскорости A_{vy} и коэффициента шлифования *G* (кривая *2*) от величины подачи круга v_n при постоянных скорости резания v_k и частоте вращения n_k показывает, что с увеличением подачи круга возрастает демпфирование вынужденных колебаний силами резания, при этом амплитуда виброскорости A_{vy} уменьшается, а коэффициент шлифования *G* повышается. При оптимальной подаче, равной v_n = 0,0134 м/с, коэффициент шлифования *G* достигает максимума, затем при ее увеличении уменьшается [2].

Коэффициент шлифования имеет максимальное значение при оптимальной подаче v_n = 0,0134 м/с в связи с тем, что предельно-допустимая амплитуда виброскорости для данной подачи имеет максимальную величину [3].

Для увеличения коэффициента шлифования при разрезании заготовок различных диаметров кругами различной зернистости необходимо работать на оптимальных подачах круга, которые зависят от длины дуги контакта круга с заготовкой, зернистости круга и также его виброскорости [3].

Анализ зависимости (рис. 4, кривая *1*) виброскорости A_{vy} и коэффициента шлифования *G* (кривая *2*) от скорости резания v_k при постоянных скорости подачи v_n и частоте вращения круга n_k показывает, что с повышением скорости резания v_k возрастают амплитуда виброскорости круга A_{vy} и величина коэффициента шлифования *G*.

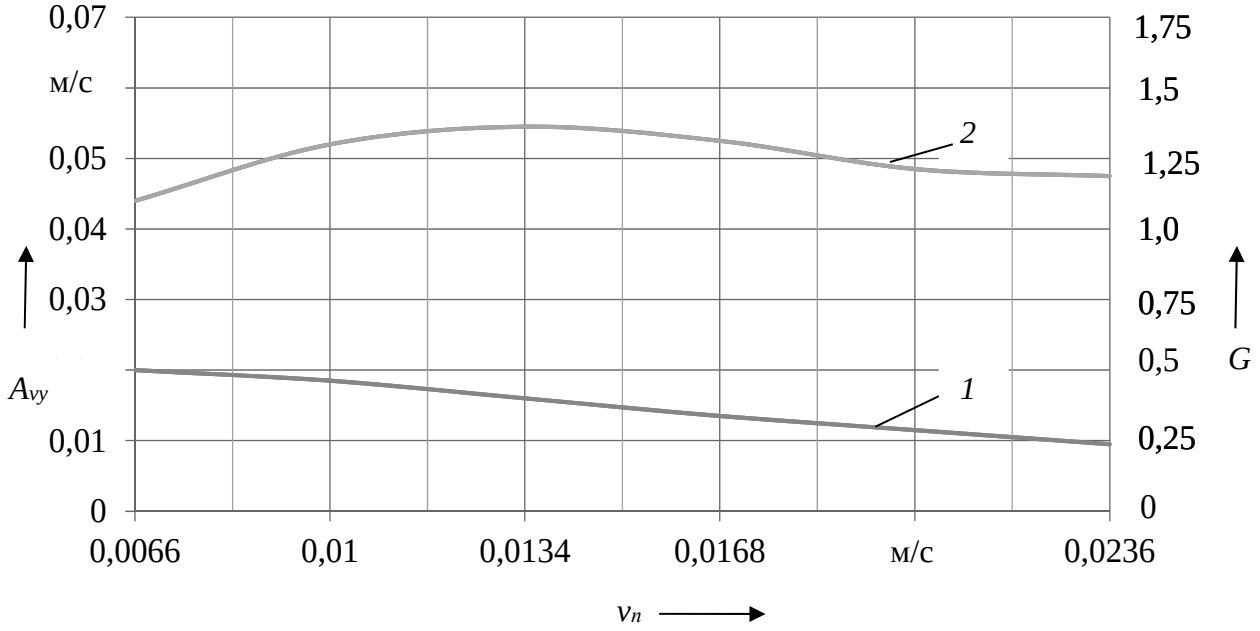

Рис. 3. Зависимость амплитуды виброскорости круга A_{vy} (*1*), коэффициента шлифования *G* (*2*) от подачи круга v_n при разрезании полосы шириной $b_з$ = 0,06 м из стали 35 со скоростью резания v_k = 80 м/с без охлаждения

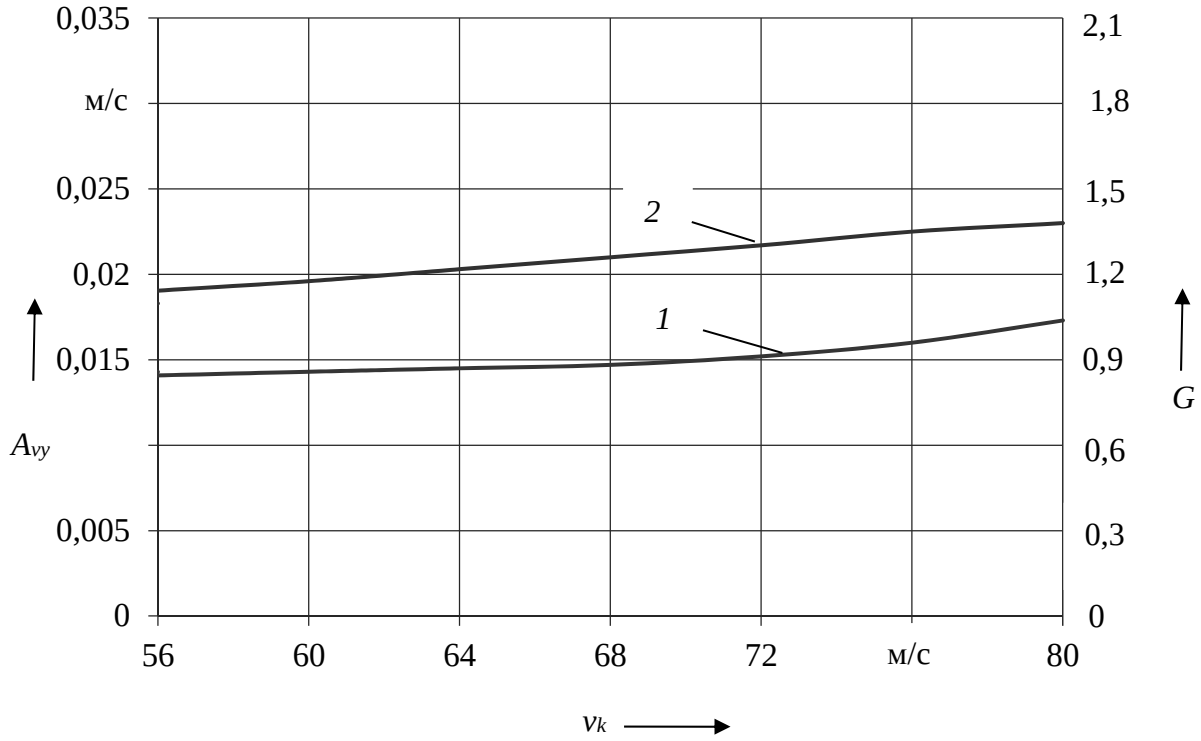

Рис. 4. Зависимость амплитуды виброскорости круга A_{vy} (*1*), коэффициента шлифования *G* (*2*) от скорости резания v_k при разрезании полосы шириной $b_з$ = 0,06 м из стали 35 со скоростью подачи v_n = 0,0134 м/с, частотой вращения круга n_k = 64 $с^{-1}$ и без охлаждения

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Повышение коэффициента шлифования G с ростом скорости резания v_k происходит за счет более быстрого увеличения предельно-допустимой виброскорости по сравнению с виброскоростью круга, а также за счет увеличения оптимальной подачи круга с ростом скорости резания [3].

Таким образом, возрастание скорости резания требует повышения виброустойчивости гидромеханической системы станка, что должно привести к ещё большему увеличению коэффициента шлифования.

Анализ зависимости (рис. 5, кривая *1*) виброскорости A_{vy} и коэффициента шлифования G от длины дуги контакта круга с заготовкой $b_з$ при постоянных скорости подачи v_n, скорости резания v_k и частоте вращения круга n_k показывает, что с увеличением длины дуги контакта $b_з$ возрастает амплитуда виброскорости круга A_{vy} и уменьшается коэффициент шлифования G.

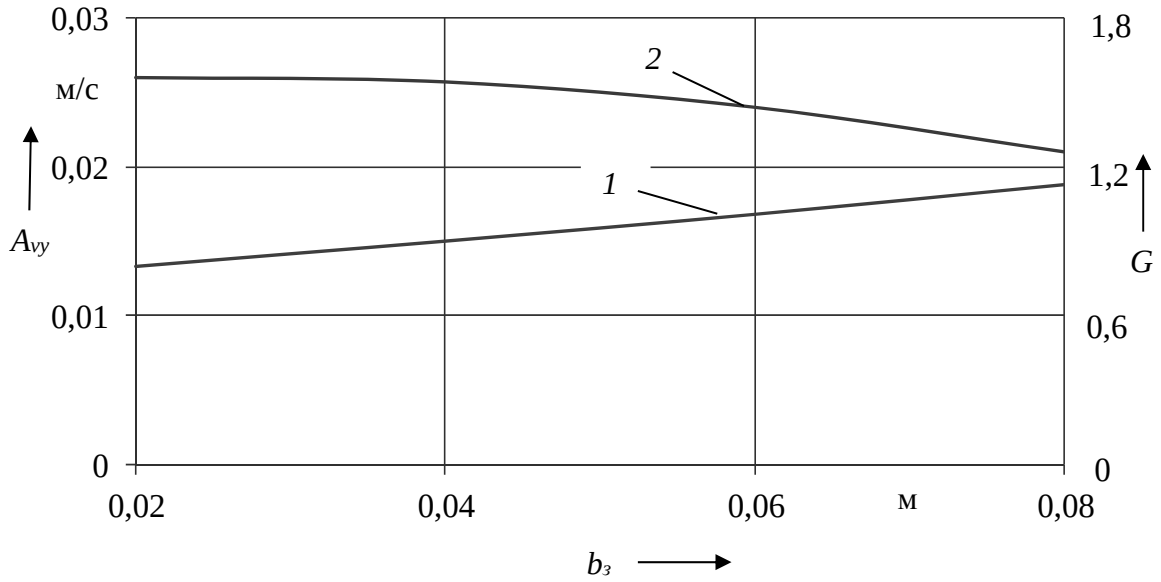

Рис. 5. Зависимость амплитуды виброскорости круга A_{vy} (*1*), коэффициента шлифования G (*2*) от ширины разрезаемой полосы $b_з$ из стали 35 со скоростью подачи v_n = 0,0134 м/с, частотой вращения круга n_k = 64 с$^{-1}$, скоростью резания v_k = 80 м/с и без охлаждения

Уменьшение коэффициента шлифования (рис. 5, кривая *2*) связано с превышением предельно-допустимой виброскорости с ростом длины дуги контакта круга с заготовкой, что приводит к более интенсивному самозатачиванию круга и снижению демпфирующих способностей процесса резания [3].

С уменьшением длины дуги контакта возрастает оптимальная подача, при которой коэффициент шлифования будет максимальным. При разрезании круглых заготовок оптимальная подача круга выбирается для максимальной дуги контакта и всегда будет меньше для меньших длин дуги контакта при врезании круга и на выходе из заготовки, что может вызвать некоторое увеличение износа круга.

Можно предположить, что рост скорости подачи круга на входе и выходе круга из круглой заготовки может привести к снижению виброскорости круга из-за увеличения демпфирования

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

силами резания и некоторому уменьшению износа круга, а также к повышению производительности, что требует экспериментальной проверки.

Заключение

1. Виброскоростью колебаний призм по осям *y* и *z* на износ абразивно-отрезных кругов можно пренебречь в связи с малым влиянием на изменение средней толщины срезаемой стружки.

2. Вынужденные колебания шпинделя при абразивной разрезке недостаточно демпфируются силами резания по сравнению, например, с точением, что вызвано интенсивным режимом самозатачивания, в связи с чем уменьшение интенсивности колебаний возможно в основном за счет увеличения виброустойчивости упругой гидромеханической системы станка.

3. С увеличением частоты вращения круга при постоянной скорости резания растет его виброскорость, что приводит к увеличению износа круга и уменьшению коэффициента шлифования.

4. С увеличением подачи круга возрастает демпфирование вынужденных колебаний силами резания, снижается виброскорость круга. Коэффициент шлифования имеет максимальную величину при оптимальной подаче круга и уменьшается на других подачах, отличающихся от оптимальной.

5. С увеличением скорости резания уменьшается демпфирование вынужденных колебаний силами резания, возрастают виброскорость круга и коэффициент шлифования. Рост скорости резания требует повышения виброустойчивости упругой гидромеханической системы станка.

6. С увеличением длины дуги контакта круга с заготовкой возрастает виброскорость круга и уменьшается коэффициент шлифования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кечек, М. А.** Исследование процесса разрезания металла абразивными кругами : автореф. дис. … канд. техн. наук / М. А. Кечек. – Ростов-на-Дону, 1966. – 17 с.

2. **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.

3. **Старовойтов, Н. А.** Определение допустимого уровня виброскорости колебаний абразивно-отрезного круга / Н. А. Старовойтов / Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2016. – № 4. – С. 46–50.

4. **Кедров, С. С.** Колебания металлорежущих станков / С. С. Кедров. – Москва : Машиностроение, 1978. – 199 с.

5. **Кудинов, В. А.** Динамика станков / В. А. Кудинов. – Москва : Машиностроение, 1967. – 300 с.

6. **Мартынов, Б. П.** Исследование колебаний и волнистости обрабатываемых деталей при внутреннем шлифовании с целью повышения точности и производительности обработки / Б. П. Мартынов, Т. С. Воробьева // Производительная обработка материалов. – Воронеж : Воронеж. политехн. ин-т, 1973. – Вып. 1. – С. 168–181.

7. **Никулин, Б. И.** Устойчивость динамической системы шлифования / Б. И. Никулин, В. П. Рогачев // Изв. вузов. Машиностроение. – 1975. – № 2. – С. 143–146.

8. **Кудинов, В. А.** Динамические частотные характеристики процесса шлифования / В. А. Кудинов, В. М. Гришин // Станки и инструменты. – 1972. – № 1. – С. 7–9.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Статья сдана в редакцию 21 декабря 2017 года

Николай Андреевич Старовойтов, доц., Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого. Тел.: 8-0293-50-45-65.
Евгений Николаевич Демиденко, ст. преподаватель, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого. Тел.: 8-0447-78-65-15.
Станислав Иосифович Красюк, ст. преподаватель, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого. Тел.: 8-0296-51-71-34.

Nikolai Andreyevich Starovoytov, Associate Prof., Sukhoi State Technical University of Gomel. Phone: 8-0293-50-45-65.
Evgeny Nikolayevich Demidenko, senior lecturer, Sukhoi State Technical University of Gomel. Phone: 8-0447-78-65-15.
Stanislav Iosifovich Krasyuk, senior lecturer, Sukhoi State Technical University of Gomel. Phone: 8-0296-51-71-34.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/