

УДК 621.93

С. Г. Гананольский, А. И. Шипин

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА

Качество заточки дереворежущего инструмента является одним из важнейших факторов, определяющих энергоемкость и экономичность процессов обработки древесины резанием в промышленных условиях.

С некоторыми допущениями процесс заточки различных видов дереворежущих инструментов можно рассматривать как абразивный износ, при исследовании которого определяются закономерности изнашивания пары трения в зависимости от характера и величины механических воздействий и вида материалов.

Получена математическая модель, которая позволяет количественно оценивать интенсивность и величину абразивного износа в зависимости от виброактивности пары трения.

Для исследования влияния вибрации на абразивный износ была разработана и изготовлена экспериментальная установка, воспроизводящая физическую модель взаимодействия виброактивного образца с движущейся абразивной поверхностью. Результаты эксперимента подтверждают адекватность результатов теоретических исследований.

Ключевые слова: абразивный износ, виброактивность, частотные характеристики, интенсивность износа.

Качество заточки дереворежущего инструмента определяющим образом влияет на эффективность большинства технологических процессов деревообрабатывающих производств. Исследования, направленные на повышение геометрической точности и снижение величины шероховатости затачиваемых поверхностей инструмента весьма актуальны.

С некоторыми допущениями процесс заточки различных видов дереворежущих инструментов можно рассматривать как абразивный износ. Данный вид

износа исследуется в общей проблеме износостойкости, где выделяются две основные задачи:

1. Описание закономерностей изнашивания материалов трущейся пары в зависимости от механических воздействий и состава среды.
2. Определение параметров износа сопряжений узлов в конкретных условиях эксплуатации.

Первая задача составляет предмет теории трения и износа. Вторая задача является основной в проблеме эксплуатационной долговечности и надежности. Основные положения и закономерности теории трения и износа материалов создают принципиальные предпосылки для решения второй задачи. Только на основании этих положений может быть правильно учтено влияние условий эксплуатации: изменяющихся эпюр и характера нагружения рабочих поверхностей, масштабного фактора, состава рабочих сред, температур и т.п.

В свою очередь, первая задача может считаться решенной только в результате такого количественного описания механизма абразивного износа, которое позволит получить как методы расчета износа, так и способы управления этим процессом.

Кроме того, на процесс взаимодействия поверхностей пары трения оказывает влияние взаимосвязь динамических процессов и непосредственно процесса износа.

Вибрации, вызванные действием центробежных сил неуравновешенных роторов, колебаниями рабочих нагрузок, кинематическими возмущениями и т. п. определяют накопление усталостных напряжений и скорости протекания процессов изнашивания сопрягаемых деталей. В свою очередь изменившиеся условия контакта в подвижных сопряжениях вызывают изменение отклика упругой системы машины. Уровень нагрузок и вибраций меняется, что вновь сказывается на скорости протекания процессов в сопряжении.

При общепринятой качественной оценке взаимовлияния двух процессов в специальной научно-технической литературе намечены лишь подходы к получению зависимостей, количественно оценивающих влияние уровня вибрации на износ сопрягаемых деталей или уровня износа на виброактивность.

В случае действия на узел трения гармонического возмущения, при упругом контакте поверхностей и усталостном виде износа, изменение контурного давления q_c (Па) очевидно может подчиняться закону Гаусса [1].

Тогда математическое ожидание каждого данного значения контурного давления q_c будет найдено как:

$$P = \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(q_c - \bar{q}_c)^2}{2\delta^2}}, \quad (1)$$

где δ – среднее квадратическое отклонение;

\bar{q}_c – среднее контурное давление.

Тогда в условиях вариации нагрузки интенсивность износа запишется:

$$I_{var} = \int_{-\infty}^{+\infty} IP dq_c, \quad (2)$$

Принимая во внимание, что зависимость интенсивности износа от контурного давления определяется по следующему выражению:

$$I = Aq_c^{1+\beta t}, \quad (3)$$

где A – коэффициент пропорциональности;

t – усталостная характеристика;

$\beta = \frac{1}{2v+1}$, v – геометрическая характеристика;

выражение (2) примет вид:

$$I = A\bar{q}_c^{1+\beta t} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{(1 + \theta V)^{1+\beta t}}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\theta^2}{2}} d\theta = \bar{I}\lambda, \quad (4)$$

где $\theta = \frac{q_c - \bar{q}_c}{\delta}$ – критерий Стьюдента;

$V = \frac{\delta}{q_c}$ – коэффициент вариации;

$$\bar{I} = A\bar{q}_c^{1+\beta t};$$

$$\lambda = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{(1+\theta V)^{1+\beta t}}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\theta^2}{2}} d\theta \approx 1 + \beta t V^{1+\beta t}.$$

Полученное выражение говорит о том, что интенсивность износа при колебаниях нагрузки около среднего значения всегда будет больше по сравнению с тем, если бы нагрузка поддерживалась постоянной на среднем уровне.

Для исследования влияния динамических процессов на характеристики абразивного трения и получения математической модели процесса абразивного износа была разработана экспериментальная установка, состоящая из вращающегося диска, на плоскость которого фиксируется сменный абразивный материал, и виброактивного суппорта с закрепленным в нем испытываемым образцом. (Рис.1) Данная конструкция позволяет установить зависимость интенсивности износа образцов (Сталь 30) от величины нагрузки, скорости трения, частотных характеристик и амплитуды колебаний виброактивного суппорта[2].

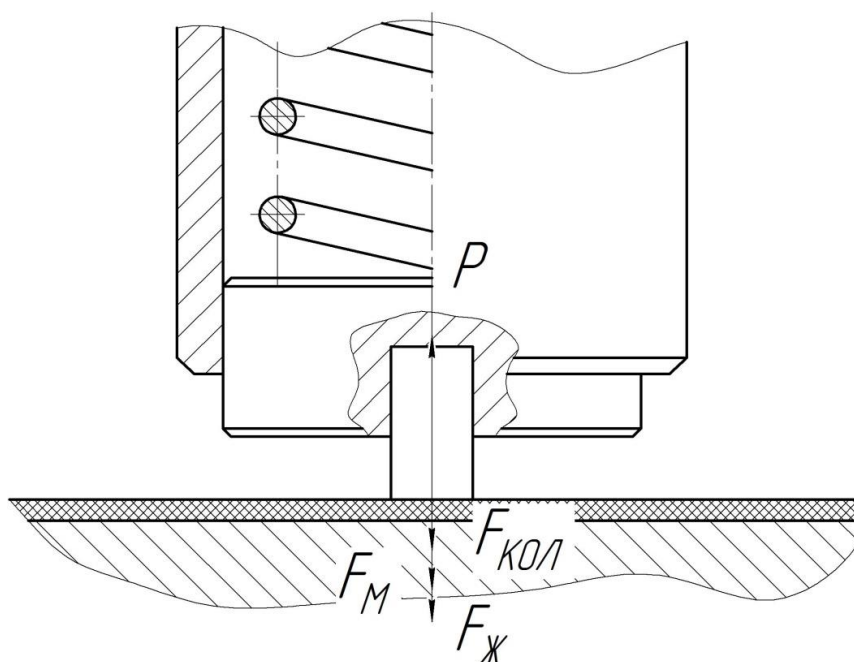


Рис. 1. Схема сил, действующих на образец

В общем случае скорость изнашивания выражается степенной функцией удельного давления и скорости скольжения:

$$\gamma = k \cdot p^m \cdot V^n, (5)$$

где k – коэффициент, характеризующий износостойкость материала и условия работы данной пары (смазка, степень изоляции, загрязнение и т.д.);

m, n – показатели, учитывающие вид изнашивания (для абразивного изнашивания $m = n = 1$);

$$p = \frac{F}{S} - \text{удельное давление,}$$

где F – сила прижатия образца,

S – площадь сечения образца.

$V = \omega \cdot R$ – скорость трения образца.

Для получения математической модели процесса было получено выражение для силы $P(t)$:

$$P(t) = M \cdot g + C \cdot (x_0 - f(t)) + F \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (6)$$

где

$F_M = M \cdot g$ – сила веса,

$F_{Ж} = C \cdot (x_0 - f(t))$ – сила жесткости, изменяющаяся в процессе износа,

$F_{КОЛ} = F \cdot \sin(\omega \cdot t)$ – динамическая нагрузка системы.

В процессе изнашивания, а также под влиянием внешней изменяющейся нагрузки закон движения основания образца имеет следующий вид:

$$f(t) = \frac{F}{C} \cdot \beta \cdot \sin(\omega \cdot t) + x, \quad (7)$$

где $\frac{F}{C} \cdot \beta \cdot \sin(\omega \cdot t)$ – перемещение основания образца при колебаниях,

x – движение основания образца за счет износа.

Подставляя выражение (7) в уравнение (6), получим:

$$P(t) = M \cdot g + C \cdot x_0 - C \cdot x - F \cdot \beta \cdot \sin(\omega \cdot t) + F \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (8)$$

$$P(t) = M \cdot g + C \cdot x_0 - C \cdot x + F \cdot (1 - \beta) \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (*)$$

Интенсивность износа образца при абразивном износе определяется:

$$I = k \cdot q, \quad (9)$$

$$q = \frac{P}{S}. \quad (10)$$

Величину износа образца выразим как:

Технические науки

$$x = I \cdot L, (11)$$

где L – путь трения.

$$L = v \cdot t. (12)$$

Таким образом:

$$x = k \cdot \frac{P}{S} \cdot v \cdot t. (**)$$

Подставляя (*) в (**), получаем:

$$x = \frac{k \cdot v \cdot t}{S} \cdot M \cdot g + C \cdot x_0 - C \cdot x + F \cdot (1 - \beta) \cdot \sin(\omega \cdot t). (13)$$

После преобразований получим:

$$x = \frac{M \cdot g + C \cdot x_0 + F \cdot (1 - \beta) \cdot \sin(\omega \cdot t)}{\frac{S}{k \cdot v \cdot t} + C}. (14)$$

Подстановкой в уравнение (14) значений параметров одной из серий опытов ($M = 0,547$ гр, $g = 9,81$ м/с², $C = 4905$ Н/м, $x_0 = 0,0108$ мм, $S = 7,85 \cdot$

10^{-5} м², $v = 0,58$ м/с, $\beta = \frac{1}{1 - (\frac{\omega}{p})^2}$, $p = \sqrt{\frac{C}{M}}$, $k = 7,274 \cdot 10^{-10}$ –

определен на основании опытов без вибрации), получены графики зависимости абразивного износа испытываемого образца при статической и динамической нагрузках (рис. 2), из которых видно, что за счет виброактивности пары трения к величине статического износа в определенные промежутки времени добавляется составляющая:

$$z = \frac{F \cdot (1 - \beta) \cdot \sin(\omega \cdot t)}{\frac{S}{k \cdot v \cdot t} + C}$$

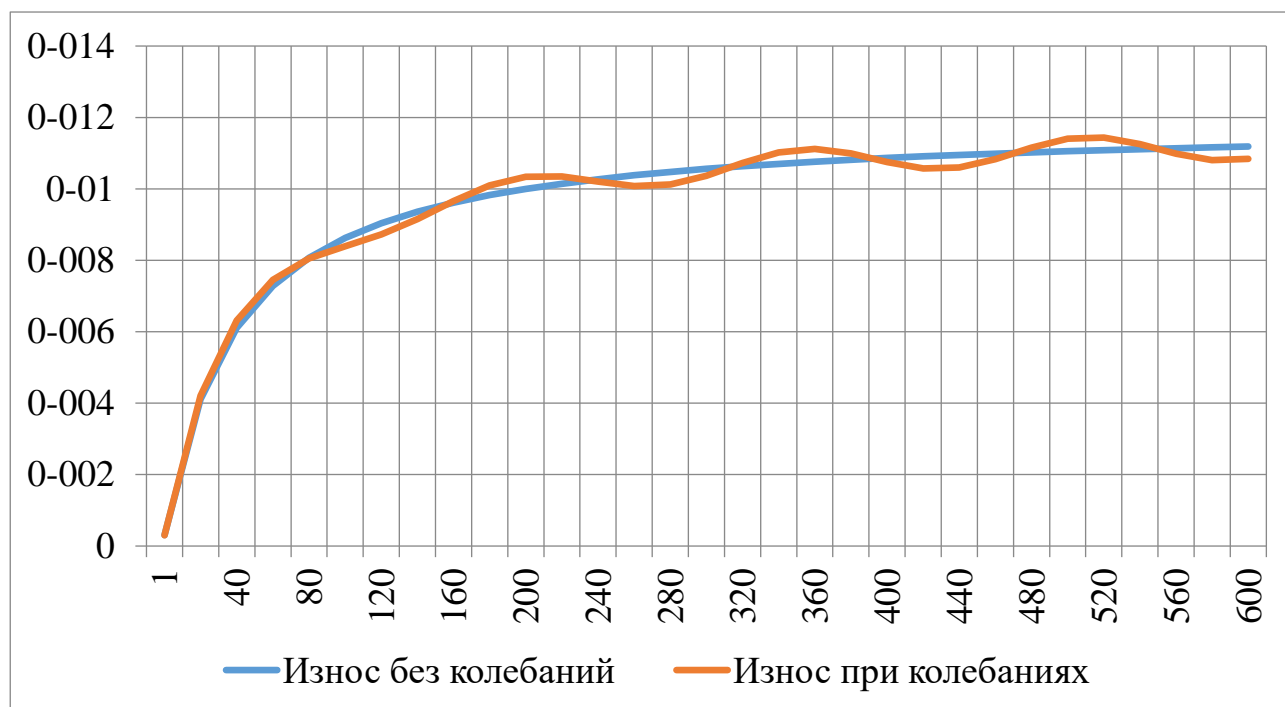


Рис. 2. График зависимости абразивного износа образца от длительности процесса

Таким образом, полученная модель (14) позволяет количественно оценивать интенсивность и величину абразивного износа в зависимости от виброактивности пары трения, результаты эксперимента согласуются с выражением (4), что также подтверждает адекватность результатов исследований.

Список литературы

1. Крагельский И. В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.
2. Ганапольский С. Г., Федоровский А. Г. Математическая модель процесса абразивного износа при действии динамической модели. Всероссийская научно-техническая конференция «Наука – производство – технологии – экология»: сб. материалов: в 4 т. Киров: Изд-во ГОУ ВПО «ВятГУ», 2010. Т. 1. БФ, ФАМ, ХФ. С. 328.

ГАНАПОЛЬСКИЙ Сергей Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и технологии деревообработки, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: Kaf_mtd@vyatsu.ru

ШИПИН Александр Игоревич – студент группы ПТКс-5801, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: shipin95@gmail.com