

Анализ конструктивных и технологических параметров устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования на основе исследований динамики относительного движения абразивной ленты

06, июнь 2011

авторы: Шиляев С. А., Иванов А. Г.

УДК 621.924.24

ГОУ ВПО «ИжГТУ»

shiljaev@mail.ru

Качество поверхностного слоя деталей формируется в результате действия режущего инструмента на материал заготовки в процессе резания. Вибрации и колебания при резании, вызывающие периодические перемещения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой детали, увеличивают шероховатость обработанной поверхности.

Рассмотрим усилия в ветвях шлифовальной ленты устройства ротационного охватывающего ленточного шлифования [1] в случае покоя всех элементов. В этом случае нагрузка в упругих ветвях ленты оказывается одинаковой. На проволоку действует сила прижатия ленты, которая называется силой резания P_y .

Определим углы охвата лентой роликов, рис. 1.

$$\beta = \arcsin \frac{r + r_{\pi}}{R} \approx \arcsin \frac{r}{R} \quad (r_{\pi} \ll R), \quad (1)$$

где r , R , r_{π} – радиусы роликов, планшайбы, проволоки соответственно, м.

$$\alpha_1 = \alpha_3 = 135^\circ + \beta, \quad \alpha_2 = 90^\circ, \quad \alpha_4 = 180^\circ - 2\beta. \quad (2)$$

Усилия натяжения в ветвях ленты:

$$S_{1-\pi} = \frac{P_y}{2 \sin \beta} + qV_r^2 b, \quad P_{\pi} = S_{1-2} \sqrt{2}, \quad (3)$$

где q – погонная масса единицы ширины ленты, кг/м²; b – ширина ленты

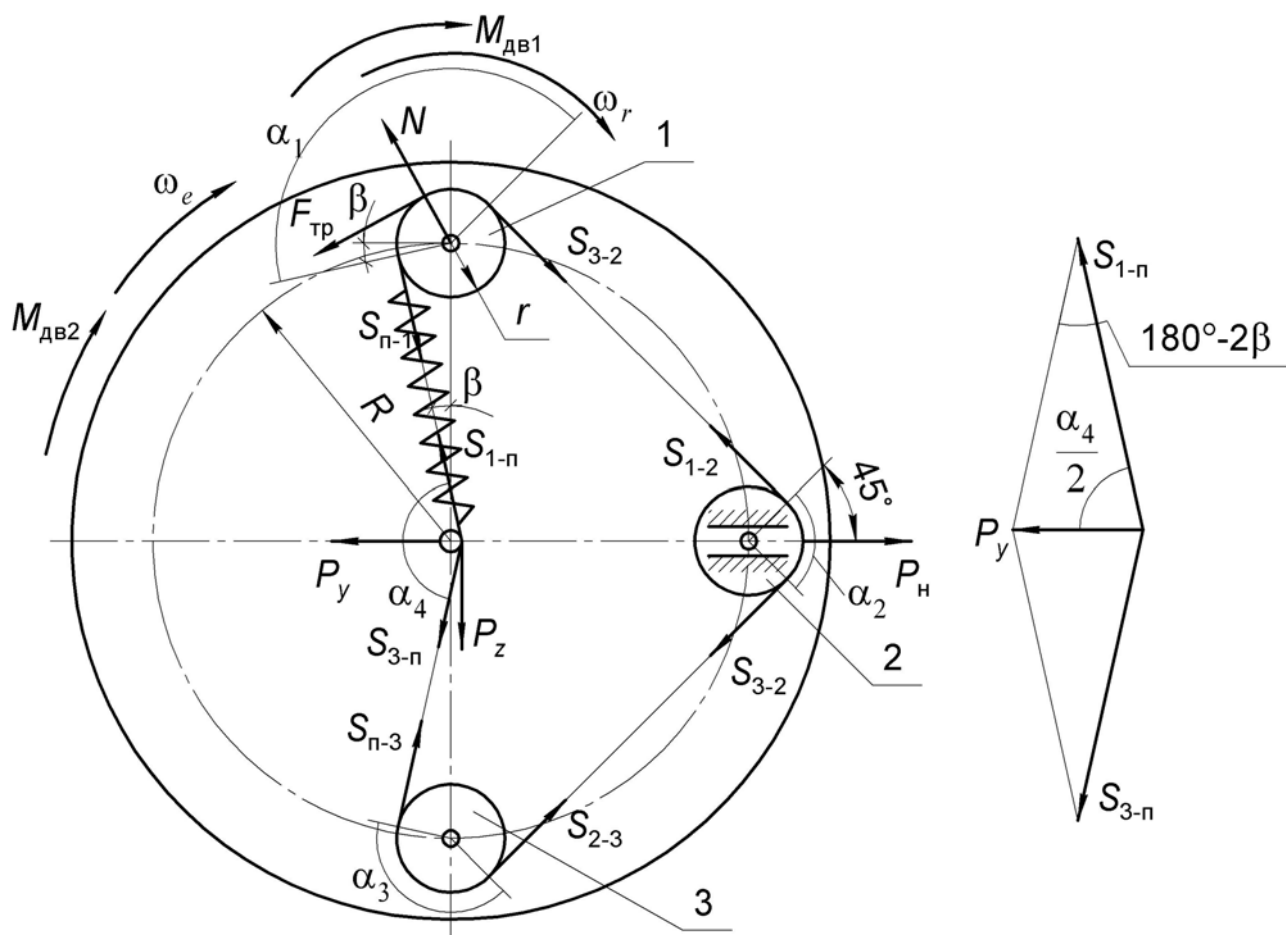


Рис. 1. Расчетная схема привода движения абразивной ленты устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования и схема сил

Участок ленты от ролика 1 до проволоки является ведущим с наибольшим натяжением. Остальные участки ленты являются ведомыми. За счет разности натяжений ленты преодолевается тангенциальная составляющая силы резания $P_z = M_{дв1} / r$, где $M_{дв1}$ – момент движущих сил, приводящих в движение ролики, охватываемые лентой, Н·м.

По литературе [2]:

$$S_{п-1} = \frac{P_z \cdot e^{f \cdot \alpha_1}}{e^{f \cdot \alpha_1} - 1} + qV_r^2 b, \quad S_{2-1} = \frac{P_z}{e^{f \cdot \alpha_1} - 1} + qV_r^2 b, \quad (4)$$

$$S_{3-2} = S_{1-2} = S_{2-1} = \frac{P_z}{e^{f \cdot \alpha_1} - 1} + qV_r^2 b, \quad (5)$$

где f – коэффициент трения между лентой и роликом; α_1 – угол охвата лентой ролика 1, рад.

К ролику 2 необходимо приложить силу натяжения:

$$P_n = \frac{S_{1-2}}{\sin 45^\circ} = \left(\frac{P_z}{e^{f \cdot \alpha_1} - 1} + qV_r^2 b \right) \sqrt{2}. \quad (6)$$

При работе ленточных шлифовальных устройств с бесконечными лентами наблюдаются автоколебания за счет сил кулоновского трения [3]. Необходимо исследовать динамику этого процесса, чтобы оценить его влияние на условия работы ленты. Машина имеет 2 степени свободы, рис. 1, поэтому для исследования удобно использовать уравнения Лагранжа II рода. В качестве обобщенных координат выберем угол поворота ведущего ролика $q_1 = \theta$, проскальзывание ленты относительно ведущего ролика $q_3 = s$.

Получаем дифференциальные уравнения:

$$I_1 \ddot{\theta} + (I_2 + I_3)(\ddot{\theta} - \ddot{s}/r) = M_{двл} - P_z r, \quad (7)$$

$$\frac{(I_2 + I_3)(\ddot{s}/r - \ddot{\theta})}{r} = -(-c(\lambda_{дин} - s)) + P_z - F_{тр}, \quad (8)$$

где $\lambda_{дин}$ – динамическая деформация ленты под действием сил, м.

Сила трения скольжения $F_{тр} = fN$, где N – нормальная реакция. Однако коэффициент трения не является постоянным, а изменяется по некоторому закону от максимального коэффициента трения покоя $f_{сц}$ до коэффициента трения скольжения $f_{ск}$ [3].

Сделав обозначения $A = I_2 + I_3$, $B = (I_2 + I_3)/(I_1 + I_2 + I_3)$, получаем:

$$\ddot{s} - f_{сц} k a \dot{s} + c b s = -f_{сц} a, \quad (9)$$

где $a = \frac{Nr^2}{A(1+B)}$, $b = \frac{r^2}{A(1+B)}$.

Учитывается, что автоколебания в ленте не зависят от внешних сил ($M_{двл}$ и P_z), поэтому их не рассматривают. Автоколебания создаются и поддерживаются за счет сил трения и упругого скольжения.

Решение имеет вид:

$$s = e^{pt} d \sin(\omega t + \alpha) - f_{сц} \frac{N}{c}. \quad (10)$$

где d – амплитуда собственных колебаний ленты, м; α – начальная фаза колебаний, рад;

$p = f_{сц} \cdot \frac{ka}{2}$ – показатель степени, 1/с; ω – циклическая частота собственных колебаний, рад/с.

Таким образом, можно установить критерии и режимы работы установки, при которых наблюдаются устойчивые автоколебания, частоту и амплитуду этих колебаний.

Амплитуда d и начальная фаза колебаний α определяют по начальным условиям. В начальный момент времени $t_0 = 0$: $s_0 = 0,001$ м, скорость $\dot{s}_0 = 0$.

$$\alpha = \pi - \arctg \frac{2\omega}{f_{\text{сц}}ka}, \quad d = \frac{s_0 + f_{\text{сц}}N/c}{\sin \alpha}. \quad (11)$$

Например, при рабочих условиях были определены параметры: натяжение ролика $P_{\text{н}} = 50$ Н; $f_{\text{сц}} = 0,3$; $f_{\text{ск}} = 0,24$; $k = 120$ с/м; $\alpha = 2,9776$ рад; $d = 0,0064$ м = 6,4 мм; показатель степени $p = f_{\text{сц}} \frac{ka}{2} = 380,188 \frac{1}{\text{с}}$; циклическая частота колебаний $\omega = 62,9$ рад/с.

Движение с переменным коэффициентом трения, описываемое уравнением (10), происходит до тех пор, пока скорость $\dot{s}$ не станет равной критическому значению $|\dot{s}| = |\dot{s}_{\text{кр}}| = 0,0005$ м/с = 0,5 мм/с. В дальнейшем движение, описываемое координатой s , происходит с постоянным коэффициентом трения $f_{\text{ск}}$. Дифференциальное уравнение движения примет вид:

$$\ddot{s} + cbs = -f_{\text{ск}}a. \quad (12)$$

Решение этого дифференциального уравнения имеет вид:

$$s = d_1 \sin(\omega_1 t + \alpha_1) + g_1, \quad (13)$$

где d_1 – амплитуда собственных колебаний ленты на этой фазе движения, м; ω_1 – циклическая частота собственных колебаний ленты, рад/с; α_1 – начальная фаза колебаний, рад.

$$\omega_1 = \sqrt{cb}, \quad g_1 = -f_{\text{ск}} \frac{N}{c}. \quad (14)$$

Начальные условия на этом этапе движения определяются конечными параметрами на предыдущем этапе движения:

$$d_1 = \frac{1}{\omega_1} \sqrt{\omega_1^2 (s_{\text{к}} - g_1)^2 + \dot{s}_{\text{к}}^2}, \quad \alpha_1 = \pi + \arctg \left(\frac{(s_{\text{к}} - g_1)\omega_1}{\dot{s}_{\text{к}}} \right). \quad (15)$$

Записываем значения параметров: $d_1 = 0,00104$ м = 1,04 мм, $g_1 = -3,413 \cdot 10^{-5}$ м, $\alpha_1 = 1,572042$ рад, $\omega_1 = 385,357$ рад/с.

Колебания на этом этапе движения являются затухающими за счет действия сил трения. Их рассматривают до момента времени, когда скорость скольжения станет равна нулю:

$\dot{s} = \frac{ds}{dt} = 0$. После достижения перемещений s отрицательных значений следует учесть

изменение направления силы трения. Затем повторяется первая фаза колебаний с перемещением направлений в противоположную сторону, рис. 2.

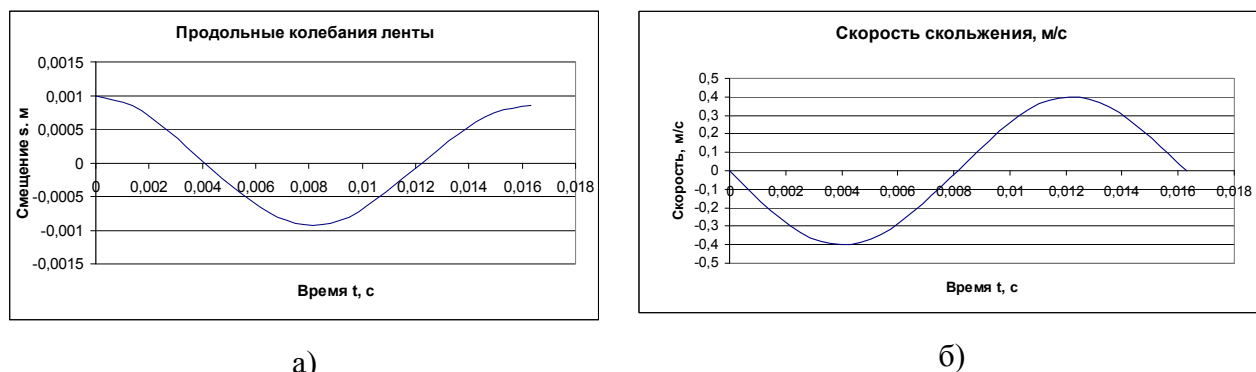


Рис. 2. Продольные колебания в течение полного периода колебаний:
а) график зависимости перемещения; б) график изменения скорости

После подстановки рабочих значений параметров ($P_n = [50; 60; 70; 80; 90; 100]$ Н; $f_{\text{сц}} = [0,3 \dots 0,5]$; $f_{\text{ск}} = [0,24 \dots 0,35]$) получили, что характер движения на первом этапе движения не изменяется и существенно не влияет на скольжение ленты вследствие быстротечности данного этапа. В общем случае с ростом силы P_n растут нормальные реакции, действующие на ленту при огибании ведущего ролика (значения заданы для скорости ленты $V_l = 18$ м/с): при $P_n = 50$ Н нормальная реакция составит $N = 64$ Н; при $P_n = 100$ Н нормальная реакция составит $N = 173$ Н. Амплитудные значения смещения уменьшаются, вследствие роста силы трения ($F_{\text{тр}} = f(N)$).

Увеличению коэффициентов $f_{\text{сц}}$ и $f_{\text{ск}}$ оказывает существенное влияние на процесс скольжения: амплитуда и скорость скольжения уменьшаются.

Основной фазой является II этап движения или скольжение с постоянным коэффициентом трения. Отметим, что частота собственных колебаний ω_1 на втором этапе больше, чем частота собственных колебаний ω на первом этапе ($385,6 > 62,9$ рад/с). Частота вращения роликов находится в пределах $\omega_r = \frac{15}{0,06} \dots \frac{22}{0,06} = 250 \dots 370$ рад/с.

То есть, частота вынужденных колебаний системы достаточно близка к частоте собственных колебаний системы. Шлифование при скоростях 22...23 м/с будет происходить в условиях резонанса упругих продольных колебаний ленты. За счет диссипативных свойств основы и связки ленты значительного увеличения амплитуды колебаний, приводящего к разрыву ленты, не произойдет. Однако следует учитывать, что резонансный режим работы

приведет к возникновению звуковых колебаний, шумам, которые неприятны человеческому слуху. Кроме того, подобные нагрузки на ленту приводят к быстрому усталостному разрушению слоя связки, потери стойкости ленты.

Следует рекомендовать режимы работы ленты со скоростями не более 20 м/с. Для обеспечения производительности установки, достаточной для промышленных масштабов, было установлено, что скорость ленты должна быть не менее 17 м/с. Поэтому для привода ленты можно рекомендовать скоростной диапазон 17...20 м/с. Окончательно устанавливается скорость ленты $V=18$ м/с, что гарантирует некоторый запас (дорезонансный режим работы).

Практический интерес представляет изучение особенностей в упругих колебаниях ленты при действии колебаний со стороны роликов. На детали и сборочные единицы привода роликов устанавливаются допуски на изготовление деталей, в частности допуск на радиальное биение роликов. Вследствие неточности изготовления и монтажа, в пределах допуска, ролики при вращении будут колебаться, при этом огибающая их лента будет испытывать действие возмущающей силы вследствие упругих колебаний за счет изменения длины ленты. При определенных условиях движения могут возникнуть биения.

Следует выяснить вопрос о рациональных значениях допуска на радиальное биение роликов. Покажем радиальное биение роликов, определяемое размером δ , рис. 3. Размер δ показывает отклонение геометрической оси ролика от действительной оси вращения в результате суммарных отклонений (радиальных биений) валов, осей роликов и цилиндрических поверхностей роликов. Рассматривается наиболее неблагоприятный вариант: все ролики имеют максимальное значение радиального биения в пределах искомого допуска. При этом отклонения δ расположены таким образом, что происходит максимально возможное удлинение ленты.

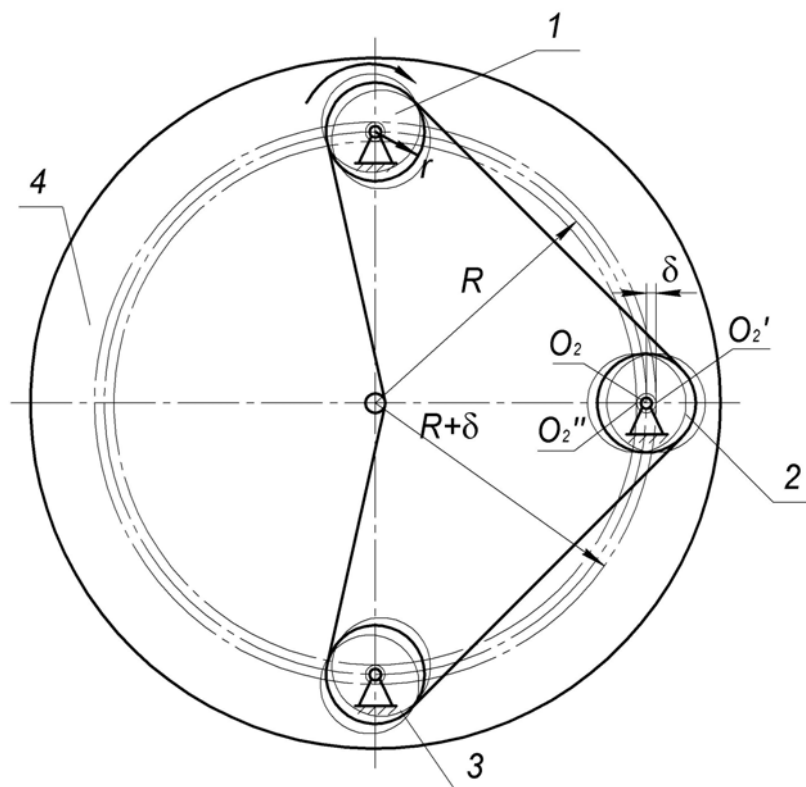


Рис. 3. Схема радиальных смещений:

1 – ведущий ролик, 2 – натяжной ролик, 3 – ведомый ролик, 4 – планшайба

С учетом возмущающей силы F_{yup} дифференциальное уравнение движения принимает вид:

$$\ddot{s} + cbs = -f_{ck}a - 2cb\delta(\sqrt{2} + \cos \beta) \cdot \sin(\omega_r t + \mu). \quad (16)$$

$$|h| = \frac{2cb\delta(\sqrt{2} + \cos \beta)}{\omega_1^2 - \omega_r^2}, \quad (17)$$

где h – амплитуда вынужденных колебаний ленты, м.

$$\text{Общее решение: } s = d_1 \sin(\omega_1 t + \alpha_1) + g_1 - \frac{2cb\delta(\sqrt{2} + \cos \beta)}{\omega_1^2 - \omega_r^2} \sin(\omega_r t + \mu). \quad (18)$$

Как уже отмечалось, при вынужденных колебаниях могут возникнуть опасные явления, называемые биениями. Они наблюдаются при частоте вынужденных колебаний ω_r примерно равных частоте собственных колебаний ω_1 . При рабочих скоростях ленты $V_{л}=15\ldots 22$ м/с, частота вынужденных колебаний равна $\omega_r=250\ldots 370$ рад/с, а $\omega_1=385$ рад/с.

При жесткости ленты $c = 450$ кН/м, $b = 0,33$ $^1/\text{кг}$, $\beta = 15^\circ$, получаем:

$$|h| = (8,2\ldots 62,4)\delta \text{ м.}$$

После известных преобразований [4] при $\omega_r \approx \omega_1$ выражение для биения запишется в виде:

$$S = \frac{2h}{\omega_1^2 - \omega_r^2} \cdot \sin\left(\frac{\omega_1 - \omega_r}{2} \cdot t\right) \cdot \cos(\omega_r t + \mu). \quad (19)$$

Построим графики колебаний согласно формуле (3.19) при $\omega_r = 370$ рад/с ($V_d = 22$ м/с), $h = 62,4\delta$ (рис. 4).

Расчетным путем было установлено, что при величине радиального биения $\delta = 0,2$ мм, амплитуда биений не превышает 0,0025 мм. При различных сочетаниях рабочих режимов и погрешностей изготовления вынужденные колебания не оказывают существенного влияния на рабочий процесс ленточного шлифования. С технологической точки зрения допуск на радиальное биение $\delta = 0,2$ мм является достаточно грубым. Вследствие этого, можно снизить требования к точности изготовления и монтажа машины, к квалификации станочников и монтажников. Данные обстоятельства положительным образом сказываются на стоимости изготовления конструкции, вследствие использования станков меньшей точности, меньшего количества чистовых операций и уменьшения расходов на оплату труда рабочих.

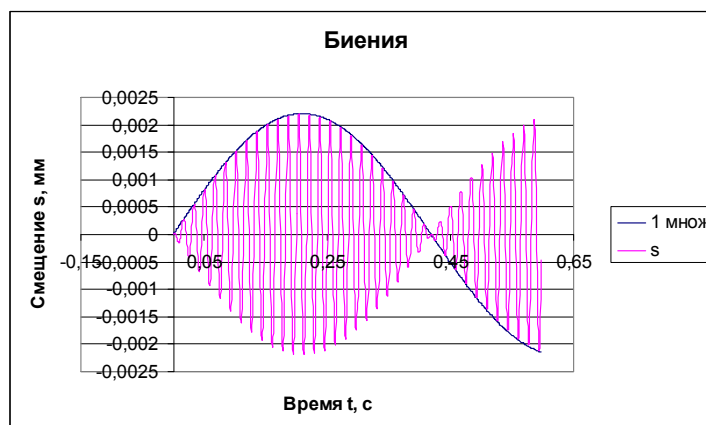


Рис. 4. График колебаний при $\omega_r = 370$ рад/с (при $V_d = 22$ м/с), $h = 62,4\delta$; $\delta = 0,2$ мм

Кроме исследованных выше явлений значительный интерес представляет исследование поведения шлифовального слоя ленты с учетом упругих свойств связки. Перемещение зерна определяется 2-мя обобщенными координатами (рис. 5): x – смещение зерна от положения равновесия под действием силы нормального давления N_0 ; α – угол поворота продольной оси зерна под действием силы резания $F_{рез}^0$.

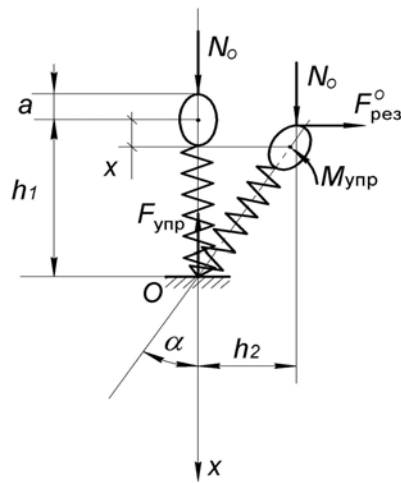


Рис. 5. Схема сил, действующих на абразивное зерно

Для системы с 2-мя степенями свободы составим 2 дифференциальных уравнения движения:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + Cx = \left[\frac{S_1}{\mu} \left(e^{\frac{\mu V}{r} t} - 1 \right) + qbV^2 \left(1 - e^{\frac{\mu V}{r} t} \right) \right] \cdot \frac{k}{\langle N \rangle}, \\ J\ddot{\alpha} + C_\alpha \alpha = \frac{k}{\langle N \rangle} \left[S_1 \cdot \left(e^{\frac{\mu V}{r} t} - 1 \right) + qbV^2 \left(1 - e^{\frac{\mu V}{r} t} \right) \right] \cdot h_1 + \\ + \frac{S_1}{\mu} \left[\left(e^{\frac{\mu V}{r} t} - 1 \right) + qbV^2 \left(1 - e^{\frac{\mu V}{r} t} \right) \right] \cdot \frac{k}{\langle N \rangle} \cdot h_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \end{cases} \quad (20)$$

где m, J – масса и момент инерции зерна; C, C_α – линейная и угловая жесткость связи.

Сделаем обозначения:

$$\left(\frac{S_1}{\mu} - qbV^2 \right) \cdot \frac{k}{\langle N \rangle m} = B, \quad \theta = \frac{B}{\omega^2} \cdot e^{\frac{\mu V}{r} t} / \left(1 + \left(\frac{\mu V}{\omega r} \right)^2 \right) \quad (21)$$

Решение имеет вид:

$$x = \theta - \frac{B}{\omega^2} + A \sin(\omega t + \varphi) = \frac{B}{\omega^2} \left(\frac{e^{\frac{\mu V}{r} t}}{1 + \left(\frac{\mu V}{\omega r} \right)^2} - 1 \right) + A \sin(\omega t + \varphi). \quad (22)$$

$$A = \frac{B}{\omega^2} \cdot \sqrt{\left(\left(\frac{-1}{1 + \left(\frac{\mu V}{\omega r} \right)^2} + 1 \right)^2 + \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{\mu V}{\omega r} \right)^2} \cdot \frac{\mu V}{\omega r} \right)^2 \right)}, \quad (23)$$

$$\varphi = \pi - \arctg \left(\frac{\mu V}{\omega r} \right). \quad (24)$$

Рассмотрим второе уравнение системы (20):

$$\alpha = p \cdot \mu \cdot \left(1 - \frac{v}{k_1 r} \right) - \frac{B_1 h_1}{k_1^2} \ln \left| \operatorname{tg} \left(\frac{k_1 t}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right| \cdot \cos(k_1 t) - \frac{B_1 h_1}{k_1} \cdot \cos(k_1 t) \cdot \int_0^t \frac{e^{\mu \frac{v}{r} t}}{\cos(k_1 t)} dt + A_1 \sin(k_1 t + \varphi), \quad (25)$$

где A_1 – амплитуда собственных угловых колебаний зерна, рад; φ – начальная фаза собственных угловых колебаний, рад.

Эти параметры определим из начальных условий.

$$A_1 = \sqrt{p_0^2 \cdot \mu^2 \left(1 - \frac{v}{k^2} \right)^2 + \left(\frac{\frac{B_1 h_1}{k^2} - \dot{p}_0 \mu \left(1 - \frac{v}{k^2} \right)}{k} \right)^2}. \quad (26)$$

Угол φ принадлежит 4 четверти.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = - \frac{k p_0 \mu \left(1 - \frac{v}{k r} \right)}{\frac{B_1 h_1}{k^2} - \dot{p}_0 \cdot \mu \left(1 - \frac{v}{k r} \right)}; \quad (27)$$

В результате обработки полученных зависимостей были построены графики линейных и угловых колебаний зерна в зависимости от технологических параметров обработки, которые приведены на рис. 6.

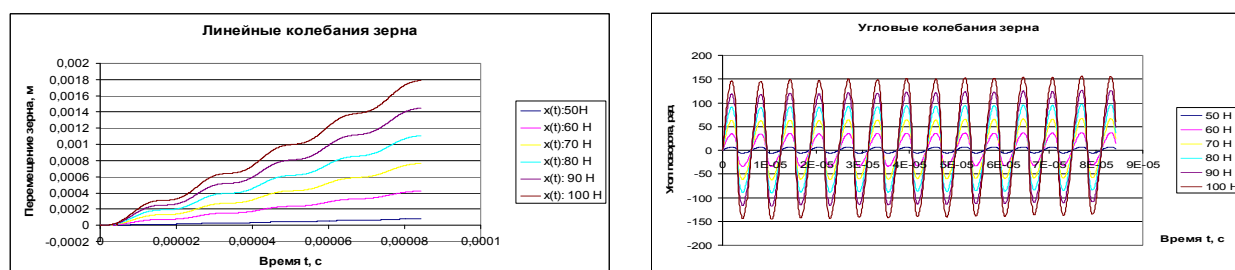


Рис. 6. Графики линейных (а) и угловых (б) колебаний зерна в зависимости от технологических параметров обработки при различных скоростях абразивной ленты (материал зерен электрокорунд, зернистость абразивной ленты 40Н, скорость ленты 18 м/с)

Анализ диаграмм движения зерна в связке при обработке проволоки диаметром 5 мм показывает следующее:

При увеличении силы P_n натяжения ленты роликом, при неизменных условиях, увеличивается амплитуда линейных и угловых колебаний зерна, достигая недопустимых значений при силе P_n больше 90 Н. При больших значениях натяжения происходит выкрашивание зерен, снижается стойкость ленты. Внедрение зерен в обрабатываемый материал проволоки достигает максимального значения, что сказывается на увеличении величины шероховатости. При скоростях менее 15-16 м/с производительность процесса шлифования снижается.

Обращает на себя внимание особенность графиков линейных колебаний при скоростях ленты более 18 м/с. Малое усилие натяжения P_n ролика приводит к парадоксальному результату: линейное смещение зерна происходит в сторону внедрения его в металл, а не в связку ленты. Это можно объяснить следующим образом. Лента огибает проволоку по малому радиусу кривизны (0,5-2,5 мм, в зависимости от диаметра проволоки), испытывает значительные центробежные силы инерции, которые зависят от квадрата скорости. Эти силы, в указанном диапазоне скорости, начинают превалировать над силами натяжения ленты и отжимают ее от проволоки. Подобные режимы обработки недопустимы, так как в этом случае процесса шлифования не наблюдается.

Можно рекомендовать для увеличения производительности процесса шлифования сочетание увеличения скорости ленты с одновременным увеличением силы натяжения P_n ролика. Например, при скорости $V_d = 18$ м/с и силе $P_n = 60$ Н максимальное смещение зерна $x = 0,45$ мкм, а для скоростей $V_d = 19-20$ м/с такие смещения наблюдаются при силе $P_n = 70$ Н.

В целом можно рекомендовать следующее сочетание рациональных режимов работы устройства, которые обеспечивают достаточно высокую производительность, сочетающуюся с большой стойкостью ленты: $V_d = 17-20$ м/с, $P_n = 50-70$ Н.

Отметим, что резонансных явлений в колебаниях зерна не наблюдается. Частота собственных колебаний зерна зависит от размеров зерна и жесткости связки. Строго говоря, жесткость связки зависит от натяжения ленты, и достигает максимума при удельном натяжении в ленте $\frac{H_o}{b} = 5 \div 7 \frac{\kappa\text{г}}{\text{см}} = 5 \div 7 \frac{\kappa\text{Н}}{\text{м}}$. При работе рассматриваемого устройства характерны мягкие

режимы обработки (финишные операции), поэтому удельные натяжения в ленте, приходящиеся на единицу ширины в ленте имеют существенно меньшие значения:

$\frac{H_o}{b} = \frac{S}{b} = \frac{70\text{Н}}{0,1\text{м}} = 700 \frac{\text{Н}}{\text{м}} = 0,7 \frac{\kappa\text{Н}}{\text{м}}$. В этом случае можно пренебречь влиянием изменения на-

тяжения ленты при огибании проволоки на жесткость связки. Были получены следующие результаты: частота собственных колебаний зерна изменяется в пределах 140-250 кГц для

зернистости 40Н (электрокорунд) до 600-800 кГц для зернистости 5М (алмаз). С другой стороны частота вынужденных колебаний ω , определяется скоростью ленты, радиусом огибания проволоки и коэффициентом шлифования μ ($\omega = \mu \frac{V}{r}$). При исследуемых режимах ($V_{\text{л}} = 18$ м/с, $r = 0,0005-0,0025$ мм, $\mu = 0,7$) получены следующие значения $\omega = 5,040-36,2$ кГц.

Для получения полированной поверхности проволоки следует применять шлифовальные ленты с алмазными зернами зернистостью порядка 5М. Картина колебаний алмазных зерен повторяет колебания зерен электрокорунда, однако количественно частота колебаний значительно выше (при скорости ленты $V_{\text{л}} = 18$ м/с, $k = 600-800$ кГц), а амплитуда линейных колебаний не превышает 0,1 мм. При этом сами колебания зерен оказываются существенно меньше величины поджатия ленты за счет огибания проволоки. Угловые колебания зерен не превышают $\pm 30^\circ$ при скорости ленты $V_{\text{л}} = 18$ м/с. Колебания не существенно зависят от величины силы натяжения, однако с увеличением силы натяжения ролика $P_{\text{н}}$, происходит снижение частоты колебаний.

ВЫВОДЫ:

1. Установлено, что первая фаза скольжения с переменным коэффициентом сопротивления зачастую носит непериодический характер. Это происходит в том случае, если увеличить натяжение в ленте за счет натяжного ролика до величины силы натяжения $P_{\text{н}} > 55$ Н, либо увеличить значение коэффициентов $f_{\text{сц}}$ и $f_{\text{ск}}$ за счет использования шероховатостей поверхности роликов. Было определено, что коэффициенты достигают следующих значений: коэффициент трения сцепления $f_{\text{сц}} = 0,5 \dots 0,6$; коэффициент трения скольжения $f_{\text{ск}} = 0,3 \dots 0,4$, что достаточно хорошо согласуется с данными литературных источников.

2. Частота вынужденных колебаний системы достаточно близка к частоте собственных колебаний системы. Шлифование при скоростях 22...23 м/с будет происходить в условиях резонанса упругих продольных колебаний ленты. За счет диссипативных свойств основы и связки ленты значительного увеличения амплитуды колебаний, приводящего к разрыву ленты, не произойдет.

3. Для обеспечения производительности установки, достаточной для промышленных масштабов, установлено, что скорость ленты должна быть не менее 17 м/с. Скорость ленты $V_{\text{л}} = 18$ м/с гарантирует некоторый запас (до резонансный режим работы). Для привода ленты можно рекомендовать скоростной диапазон 17...20 м/с.

4. В работе рассмотрен вопрос о рациональных значениях допуска на радиальное биение роликов. Установлено, что при величине радиального биения $\delta = 0,2$ мм, амплитуда биений не превышает 0,0025 мм. При различных сочетаниях рабочих режимов и погрешностей

изготовления вынужденные колебания не оказывают существенного влияния на рабочий процесс ленточного шлифования. С технологической точки зрения допуск на радиальное биение $\delta = 0,2$ мм является достаточно грубым. Вследствие этого, снижаются требования к точности изготовления и монтажа машины, к квалификации станочников и монтажников. Данные обстоятельства положительным образом сказываются на стоимости изготовления конструкции, вследствие использования станков меньшей точности, меньшего количества чистовых операций и уменьшения расходов на оплату труда рабочих.

5. При увеличении силы P_n натяжения ленты роликом, при неизменных условиях, увеличивается амплитуда линейных и угловых колебаний зерна, достигая недопустимых значений при силе P_n больше 90 Н. При больших значениях натяжения происходит выкрашивание зерен, снижается стойкость ленты. Внедрение зерен в обрабатываемый материал проволоки достигает максимального значения, что сказывается на увеличении величины шероховатости. При скоростях менее 15-16 м/с производительность процесса шлифования снижается. Для увеличения производительности процесса шлифования рекомендуется принять следующее сочетание рациональных режимов работы устройства, которые обеспечивают достаточно высокую производительность, сочетающуюся с большой стойкостью ленты: $V_n = 17-20$ м/с, $P_n = 50-70$ Н.

6. Частота собственных колебаний зерна зависит от размеров зерна и жесткости связки. При работе рассматриваемого устройства характерны мягкие режимы обработки (финишные операции), поэтому удельные натяжения в ленте, приходящиеся на единицу ширины в ленте имеют значения 0,7 кН/м. Частота собственных колебаний зерна изменяется в пределах 140-250 кГц для зернистости 40Н (электрокорунд) до 600-800 кГц для зернистости 5М (алмаз). Резонансных явлений в колебаниях зерна не наблюдается.

7. Частота вынужденных колебаний ω , определяется скоростью ленты, радиусом огибания проволоки и коэффициентом шлифования μ . При исследуемых режимах ($V_n = 18$ м/с, $r = 0,0005-0,0025$ мм, $\mu = 0,7$) получены следующие значения $\omega = 5,040-36,2$ кГц.

8. Амплитуды и частоты линейных и угловых колебаний не зависят от размеров проволоки. Для малых сечений проволоки необходимо выбирать «мягкие» режимы резания с уменьшением силы натяжения натяжного ролика до значения $P_n = 40-50$ Н.

9. Для лучшего закрепления зерен на рабочей поверхности шлифовальной ленты следует использовать упругие материалы связки, которые способствуют уменьшению амплитуды линейных колебаний за счет увеличения жесткости связки. При этом амплитуда угловых колебаний не должна превышать 40-50°.

10. При выборе шлифовальной ленты для решения конкретных производственных задач необходимо обратить внимание на режущую способность ленты, а именно на коэффициент шлифования. С увеличением режущей способности, то есть ростом коэффициента μ уменьшаются амплитуды колебаний, следовательно, повышается производительность процесса и уменьшается шероховатость обработанной поверхности. Однако одновременно следует принимать верхние значения силы натяжения ленты, чтобы обеспечить необходимую эффективность процесса. Для увеличения коэффициента μ можно применять ленты, в которых обеспечивается закономерное расположение зерен на связке или использование зерен закономерной структуры. Для получения полированной поверхности проволоки следует применять шлифовальные ленты с алмазными зернами зернистостью порядка 5М.

Список литературы

1. Ленточно-шлифовальный станок: Патент на изобретение №2228831 РФ / С.А. Шиляев, Ф.Ю. Свитковский, Т.Н. Иванова. Заявл.25.07.02, опубл. 20.05.04. Бюл.№14.
2. Юнусов Ф.С. Формообразование сложнопрофильных поверхностей шлифованием. М.: Машиностроение, 1987. 248 с.
3. Бабаков И.М. Теория колебаний. М.: Наука, 1968. 560 с.
4. Яблонский А.А., Никифорова В.М. Курс теоретической механики. СПб.: Изд-во «Лань», 2002. 768с.