

*к.т.н., доц. Мосягин Н. А.,
к.т.н., доц. Чекалов А.Н.,
ст.преподаватель Стародубов С.Ю,
студент Ерошенко И.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ЗУБОШЛИФОВАНИЯ

Наведено результати теоретичних досліджень, одержані залежності, які описують ступінь впливу характеристик жорсткості верстата на точність зубошліфування.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами.

Высокоточные шлифованные зубчатые колеса нашли широкое применение в различных отраслях машиностроения благодаря меньшим габаритам и весу, низкому уровню шума и вибраций, высокой эксплуатационной надежности и долговечности.

Одним из самых распространенных видов оборудования для получения высокоточных колес являются зубошлифовальные станки с эталонным обкатным барабаном и регулируемым либо нерегулируемым механизмом обката, в которых деформации упругой системы являются одним из основных факторов, влияющих на точность обработанных зубчатых колёс.

Анализ исследований и публикаций. Анализ отечественных и зарубежных исследований показывает, что изучению влияния упругой системы станка уделяется большое внимание. В то же время работы по исследованию станков с регулируемыми механизмами обката практически отсутствуют.

Постановка задачи. Цель работы – исследование степени влияния крутильного и изгибного контуров упругой системы станка на точность зубошлифования.

Изложение материала и его результаты. Точность и производительность зубошлифования существенно зависит от свойств и поведения упругой системы (УС), расчетная схема которой показана на рис. 1. Ввиду их слабой связанности уравнения движения изгибной и крутильной систем будут иметь следующий вид:

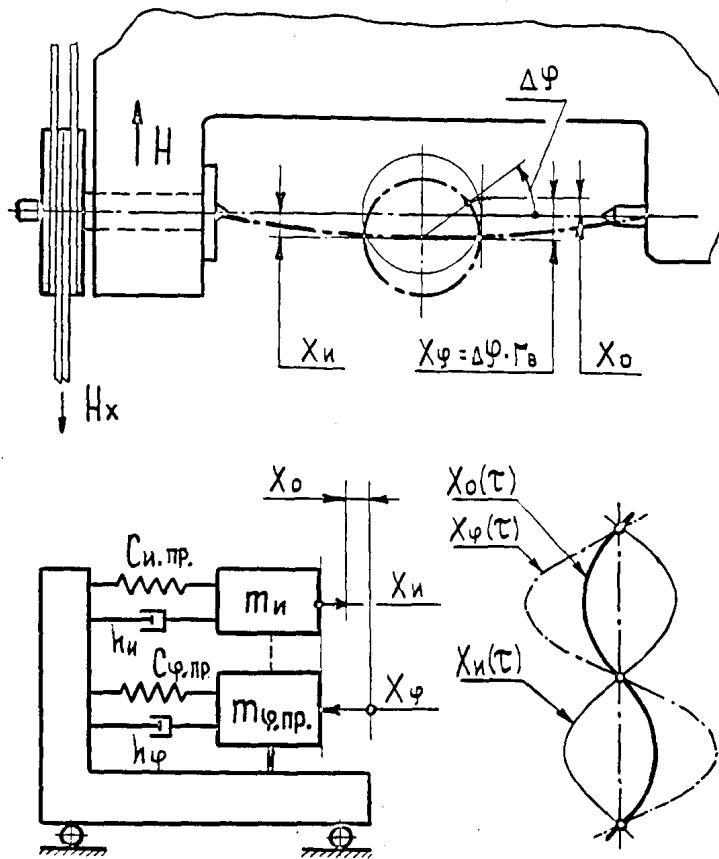


Рисунок 1 – Схема и модель механизма обката

$$\begin{aligned}
 m \cdot \ddot{X}_u + h \cdot \dot{X}_u + C_{u.пр.} \cdot X_u &= P_{(\square)} + C_{u.пр.} \cdot X_u(\tau), \\
 I \cdot \ddot{\phi} + h \cdot \dot{\phi} + C_{\phi.пр.} \cdot \phi &= P(\tau) \cdot \frac{d_s}{2} + C_{\phi.пр.} \cdot \phi(\tau),
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где m – приведенная масса оправки с изделием,
 h_u, h_ϕ – коэффициенты демпфирования изгибной и крутильной систем,
 $X_u, \dot{X}_u, \ddot{X}_u$ и $\phi, \dot{\phi}, \ddot{\phi}$ – соответственно линейные и угловые перемещения, скорости и ускорения изделия,
 $P(\tau)$ – усилие резания:

$$P(\tau) = k_p t_\phi,$$

где k_p – коэффициент жесткости резания,
 t_ϕ – фактическая глубина резания:

$$t_{\phi} = t_o - \left(\frac{d_g}{2} \cdot \Delta\varphi + \Delta X_u + \Delta X_{ш.к.} \right),$$

где $\Delta X_{ш.к.} = \frac{P(\tau)}{C_{ш.к.}}$ – смещение шлифовального круга;

t_o – заданная глубина резания,

$C_{и.пр.}$, $C_{ф.пр.}$, $C_{ш.к.}$ – соответственно жесткости изгибной и крутильной систем, шлифовального круга,

I – приведенный момент инерции обкатного барабана с присоединенными к нему массами,

d_g – диаметр изделия,

$X_{u(\tau)}$ – кинематическое возбуждение в изгибной системе.

Преобладающее влияние на точность оказывает крутильная система, имеющая более высокую податливость. Общая ошибка профиля зубьев f_{fr} , вызванная деформациями крутильной системы механизма обката при шлифовании нулевым и "К"-методами (без учета процесса резания) определяется зависимостью:

$$f_{fr} = \frac{d_g}{D} \left[\left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 \cdot H \cdot \sin \omega t + \frac{\sum \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 \cdot X_{1k} \cdot \sin(\omega t + \Phi)}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 \right]^2 + \left(2h \cdot \frac{\omega_k}{\omega_c} \right)^2}} \right], \quad (2)$$

где d_g , D – диаметры изделия и барабана,

ω , ω_k , ω_c – частоты воздействия и собственная частота крутильной системы,

H – длина хода каретки обката,

Φ – диссипативная функция системы.

Первая составляющая уравнения проявляется в равномерном отклонении профиля зуба от заданного и может быть исправлена за счет изменения диаметра обката d_g . Вторая часть представляет собой сумму динамических ошибок от источников внешних возмущений и проявляется в виде циклической ошибки профиля.

В результате деформаций УС станка от действия инерционных сил и сил резания при сравнительно низкой частоте воздействия (в до-резонансной зоне) возникают погрешности, которые можно считать не зависящими от частоты входного воздействия. При этом величина деформации УС будет определяться статическими коэффициентами.

В результате перенастроек станка изменяются параметры механизма обката (приведенная масса, демпфирование, приведенная жесткость...). Возникающая ошибка при одном и том же входном воздействии будет изменяться. В случае зубошлифования сравнительно больших

колес необходимо учитывать влияние момента инерции изделия. Так как крутильная жесткость присоединения изделия в большинстве случаев значительно выше жесткости лент, можно записать:

$$f_{fr} = \left(\frac{r_g}{R^3} \right) \cdot \frac{\omega^2}{C_l} \cdot (I + I_u) \cdot H \cdot \sin \omega t = \frac{d_g}{D} \cdot \frac{\omega^2}{C_l} \cdot H \cdot \sin \omega t \left[\frac{I}{R^2} + \left(\frac{d_g}{D} \right)^2 \cdot \frac{m_u}{2 \cos^2 \alpha} \right] \quad (3)$$

где α – угол зацепления,

$$I_u = \frac{m_u r^2}{2},$$

$$r = \frac{r_g}{\cos \alpha},$$

H – длина хода каретки обката.

Как видно, влияние изделия на точность зубчатых колес возрастает с увеличением его диаметра и массы и изменяется пропорционально квадрату отношения d_g/D , т.е. в значительной степени зависит от настройки механизма обката.

Анализ взаимодействия изгибной и крутильной систем показывает, что их движения находятся в противофазе и общая ошибка профиля равна разности смещения и под действием инерционных сил.

$$\begin{aligned} f_{fro} = f_{frij} - f_{fru} &= \frac{d_g}{D} \left(\frac{\omega}{\omega_{c,j}} \right)^2 \cdot H \cdot \sin \omega t - \left(\frac{\omega}{\omega_{c,u}} \right)^2 \cdot H \cdot \sin \omega t = \\ &= \frac{\omega^2 \cdot H \cdot \sin \omega t}{C_{л.лр}} \left(\frac{d_g}{D} \cdot m_{лр} - \frac{C_{л.лр}}{C_u} \cdot m_u \right), \end{aligned} \quad (4)$$

где C_u – суммарная изгибная жесткость оправки с изделием в центрах,

$C_{л.лр}$ – суммарная приведенная жесткость лент,

m_u – масса изделия.

В зависимости от степени влияния изгибного и крутильного контуров отклонения могут иметь положительные или отрицательные значения, либо взаимно компенсироваться, т.е. существует принципиальная возможность исключения погрешности от действия инерционных сил путем подбора соответствующих жесткостей оправки с изделием и лент.

При возвратно-поступательном движении каретки обката с изделием в центрах и дополнительной каретки возникают инерционные силы, что ведет к увеличению съема металла у головки зуба (уменьшению

фактического диаметра обката), а также встречное смещение изделия в горизонтальной плоскости, обусловленное податливостью изделия в центрах (центров и оправки). Основное влияние оказывает крутильная система и величина погрешности профиля будет определяться мгновенным изменением длины лент на линии действия

$$f_{fr} = \frac{d_g}{D} \cdot \Delta L = H \cdot \frac{m_{np}}{C_{л.нр}} \cdot \frac{2\pi^2 n^2}{3600} \cdot \sin \omega t \quad (5)$$

Откуда
$$n^2 = 182,5 \cdot \frac{C_{л.нр}}{I} \cdot \frac{R^2}{H} \cdot f_{fr \max}; \quad (6)$$

Зная предельную величину погрешности профиля $f_{fr \max}$ можно из зависимости (6) определить допустимое число ходов n каретки обката.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Величина погрешности профиля зуба, связанная с действием инерционных сил и сил резания снижается с увеличением диаметра обкатного барабана и уменьшением настраиваемого соотношения диаметров обката и барабана (d_g/D) и растет с увеличением скорости обката. При шлифовании колес с диаметром d_g , большим диаметра D , возрастет чувствительность к точности изготовления и настройки, а также влиянию внешних возмущений. Для получения высокоточных колес целесообразно применение обкатных барабанов большего диаметра, чем диаметр обката (d_g) шлифуемого колеса.

2. Составляющие погрешностей профиля, вызванные действием изгибной и крутильной систем могут быть компенсированы за счет соответствующего подбора их приведенных жесткостей.

3. Погрешность профиля зуба, вызванная инерционными нагрузками, может быть компенсирована за счет корректировки диаметра обката.

Приведены результаты теоретических исследований, получены зависимости, которые описывают степень влияния характеристик жесткости станка на точность зубошлифования.

The results of theoretical researches are resulted, dependences which describe the degree of influencing of descriptions of inflexibility of machine-tool on exactness of zuboshlifovaniya are got.

Библиографический список.

1. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я.Г.Пановко, - Л.: Машиностроение, 1986. – 320с.