

Расчет динамических характеристик и устранение причин угловых колебаний рабочей клетки представляет на сегодняшний день актуальную задачу.

Динамическая модель

Причиной возникновения угловых колебаний клетки при нестационарном режиме работы является податливость кривошипного вала и значительные массы деталей приводного механизма. При одностороннем приложении крутящего момента от двигателя к ведущему кривошипу оба кривошипных колеса смещаются друг относительно друга на некоторый фазовый угол – угол закручивания ϑ вала. Упругая деформация кривошипного вала приводит к несимметричности подвода силового потока к рабочей клетке, т. е. к неравномерному распределению нагрузки между шатунами.

По условиям прокатки кривошипный вал располагают несколько ниже оси прокатки, что соответствует дезаксиальной схеме кривошипно-шатунного механизма. Такая схема свойственна большинству конструкций станков ХПТ. На рис. 2 представлена динамическая модель для расчета угловых колебаний рабочей клетки прокатного стана.

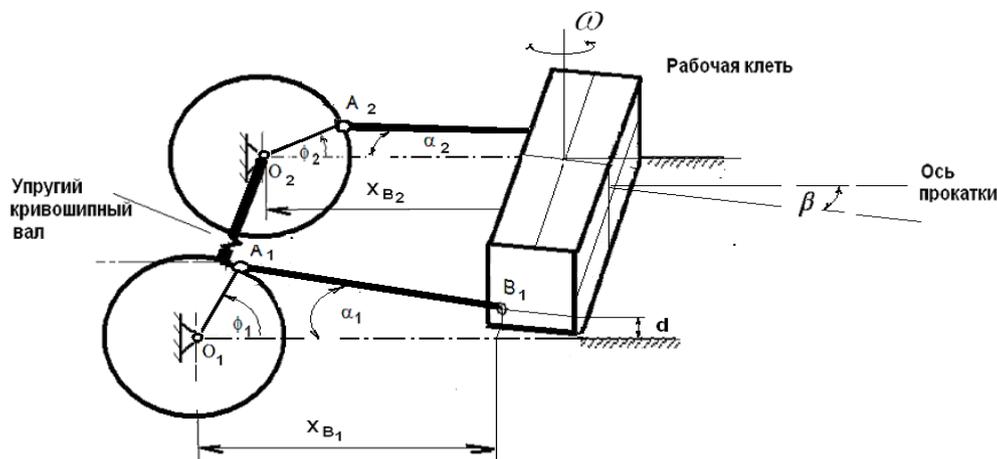


Рис. 2. Динамическая модель угловых колебаний рабочей клетки

Момент сил упругости на кривошипном валу может быть представлен линейной функцией $M_y(\varphi_1, \varphi_2) = c(\varphi_2 - \varphi_1) = c\vartheta$. Здесь c – жесткость вала, $\vartheta = \varphi_2 - \varphi_1$ – деформация кручения.

Главная линия прокатного стана нагружается усилиями прокатки и электромагнитным моментом двигателя. На рис. 3, а представлен безразмерный график изменения используемого в расчетах движущего момента $M_o(\varphi_1)$ в периоды разгона, установившегося движения и остановки электродвигателя.

Рабочая клетка воспроизводит достаточно сложную зависимость изменения сил технологического сопротивления при захвате и повороте заготовки. Безразмерный график усилий, действующих на клетку за цикл операций подачи, прокатки и поворота трубы, показан на рис. 3, б.

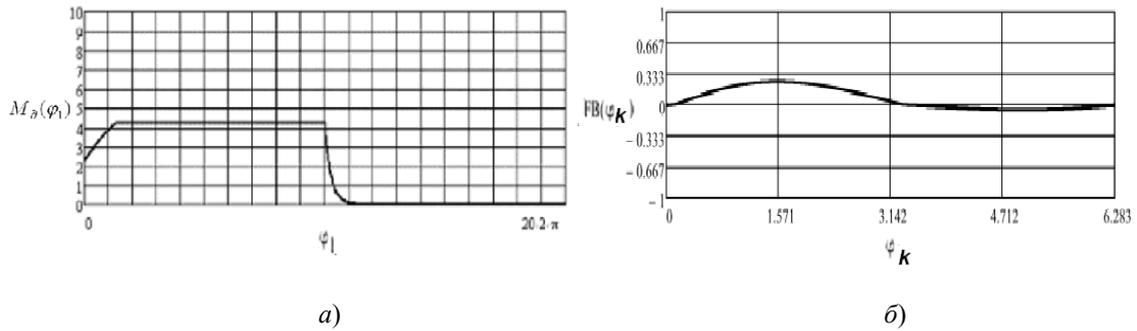


Рис. 3. Графики:

a – изменения движущего момента $M_\delta(\varphi_1)$; *б* – усилий, действующих на клеть

Математическая модель механической системы с двумя степенями свободы представлена системой двух дифференциальных уравнений. Эти уравнения выводятся из двух уравнений Лагранжа второго рода

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \omega_k} - \frac{\partial T}{\partial \varphi_k} = Q_k, \quad k = 1, 2, \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия механизма привода; $\omega_1, \omega_2, \varphi_1, \varphi_2$ – обобщенные угловые скорости и угловые перемещения; Q_1, Q_2 – обобщенные силы.

Выводим формулы для вычисления приведенных моментов инерции:

$$J_{Bk}^*(\varphi_k) = m_{Bk} (\check{v}_{Bk}(\varphi_k))^2 \text{ и}$$

$$\begin{aligned} J_{AB}^*(\varphi_k) = & m_{AB} \left(OA + \frac{1}{2} \bar{\omega}_{ABk}(\varphi_k) \right)^2 + \\ & + m_{AB} [OA \cdot AB \cdot \bar{\omega}_{ABk}(\varphi_k) (\sin(\varphi_k) \sin(\alpha_k(\varphi_k)) - \cos(\varphi_k) \cos(\alpha_k(\varphi_k)))] + \\ & + \frac{1}{2} J_{AB}(\bar{\omega}_{AB}(\varphi_k))^2; \end{aligned}$$

где $\bar{\omega}_{ABk}(\varphi_k) = \frac{d}{d\varphi_k} [\alpha_k(\varphi_k)]$; $\check{v}_{Bk}(\varphi_k) = OA \sin(\varphi_k) - AB \frac{d}{d\varphi_k} [\alpha_k(\varphi_k)] \sin(\alpha_k(\varphi_k))$ – аналоги угловой скорости шатуна и скорости точек B_k ; $\alpha_k(\varphi_k) = \left[\arcsin \left(\frac{OA \sin(\varphi_k) - d}{AB} \right) \right]$ – функции положения шатунов.

Находим правые части дифференциальных уравнений:

$$Q_k^*(\varphi_1, \varphi_2, \omega_k) = \frac{1}{J^*(\varphi_k)} \left[\left(\begin{matrix} M_\delta(\varphi_1) \\ 0 \end{matrix} \right) \mp M_y(\varphi_1, \varphi_2) - \frac{F_{Bk}(\varphi_k) \cdot \check{v}_{Bk}(\varphi_k)}{\omega_k} - \frac{1}{2} \frac{dJ^*(\varphi_k)}{d\varphi_{k1}} \omega_k \right].$$

Графики угловых перемещения и угловых скоростей рабочей клетки для различных возрастающих значений коэффициента жесткости вала показаны на рис. 4.

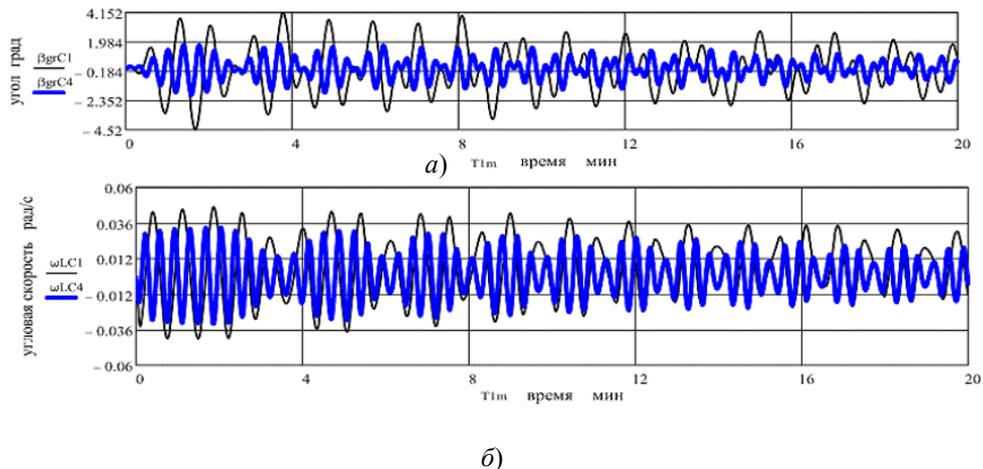


Рис. 4. Графики угла рысканья и угловой скорости рабочей клетки

Из графиков следует, что уменьшение жесткости вала приводит к дополнительным динамическим нагрузкам элементов привода клетки, что препятствуют повышению быстроходности и, следовательно, производительности стана ХПТ.

Л и т е р а т у р а

1. Автоколебания в стане холодной прокатки / Г. Э. Аркулис [и др.] // Сталь. – 1972. – № 8. – С. 727–728.
2. Конструкция, ремонт и обслуживание станов холодной прокатки труб / Л. А. Кондратьев [и др.]. – М. : Металлургия, 1994.