

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗАХВАТА ГИЛЬЗЫ ВАЛКАМИ ПИЛИГРИМОВОГО СТАНА

© 2011 Ю.Е. Раскатов

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Поступила в редакцию 21.03.2011

Описана методика расчета максимальных динамических нагрузок в линии привода пилигримового стана при мгновенном приложении нагрузки.

Ключевые слова: *пилигримовая прокатка, алгоритм, энергоёмкость, математическая модель, динамический момент, расчетная модель*

Для создания и совершенствования материально-технической базы и оборонной мощи России необходимо развитие ряда важнейших отраслей промышленности, а именно: металлургической, энергетической, химической, нефтяной, газовой, машиностроения, а также оборонной и капитального строительства. Трубная промышленность является отраслью металлургии. В связи с этим перед трубной промышленностью стоит задача – увеличить объем производства труб повышенного качества, расширить их сортамент, увеличить выпуск экономичных профилей и повысить степень обеспечения трубами необходимого сортамента ведущих отраслей страны. Бесшовные трубы применяются во всех отраслях промышленности: газовой, нефтяной, где они используются не только как продуктопроводные, но и для бурения и обсадки скважин, в машиностроении, где они используются для изготовления деталей, элементов машин и установок, а также в оборонной промышленности. Одним из основных способов производства бесшовных горячекатаных труб большого и среднего диаметров с толщинами стенок от 7 до 100 мм и более является прокатка на установках с пилигримовыми станами. Использование непрерывно-литых заготовок круглого сечения обеспечило значительные преимущества пилигримового способа производства труб.

Общеизвестны преимущества пилигримовой прокатки труб: возможность применения литого слитка, получение труб большого диаметра (до 630 мм) без применения станов – расширителей, прокатка труб длиной до 40 м, прокатка осебостолостенных, профильных и труб переменного сечения, возможность производства труб более мелкими партиями (до

одной трубы) и др. На пилигримовых станах производят трубы весьма широкого сортамента и практически любого назначения: трубы нефтяного сортамента, обсадные, баллонные, котельные, трубы из специальных сталей и сплавов, биметаллические трубы разных сочетаний (для АЭС и для транспортировки сыпучих абразивных материалов), трубы специального назначения для ВПК. Эти преимущества дают основание считать, что способ пилигримовой прокатки труб еще долгие годы будет успешно конкурировать с другими способами производства труб.

Бесшовные трубы диаметром более 406 мм с разными толщинами стенок без применения специального оборудования (гидравлических прессов и станов расширителей) можно производить только на ТПУ с пилигримовыми станами. Экономичность производства труб малыми партиями (до одной трубы) также следует отнести к достоинствам установок с пилигримовыми станами. Об этом также свидетельствует анализ технико-экономических показателей различных способов производства стальных труб [1]. При пилигримовой прокатке бесшовных труб цикл деформации гильзы периодически осуществляется за один оборот валков с переменным радиусом калибра, причем направление вращения валков противоположно направлению подачи гильзы. При этом особенно важно оценить условия захвата металла валками, закономерности формирования мгновенного очага деформации, и изменения скорости перемещения гильзы, а также уровень динамических нагрузок в линии привода пилигримового стана. Уравнение движения гильзы при её захвате имеет вид:

$$\frac{G}{2g} \frac{dV_r}{dt} = \pi R^2 \delta (\tau_k \cos \alpha - \sigma_n \sin \alpha) \quad (1)$$

Раскатов Евгений Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлургические и роторные машины». E-mail: raskatov@pochta.ru

где G – вес гильзы и дорна, кН; V_r – скорость перемещения гильзы, м/с; R – переменный радиус бойковой части валка, м; δ – дуга соприкосновения металла с валками, рад; τ_k – касательное контактное сопротивление, МПа; σ_n – нормальное напряжение, МПа; α – угол захвата, рад.

Скорость гильзы и угол δ связаны зависимостью [2]:

$$V_r = R \cos \alpha \frac{d\delta}{dt}; \quad (2)$$

Подставив зависимость (2) в уравнение (1) получим дифференциальное уравнение для δ :

$$\frac{d\delta^2}{dt^2} + \beta_1^2 \delta = 0 \quad (3)$$

где

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{2\pi g R (\sigma_n t g \alpha - \tau_k)}{G}}; \quad (4)$$

Общее решение уравнения (3) имеет вид

$$\delta = c_1 \sin \beta_1 t + c_2 \cos \beta_1 t$$

Начальные условия: $t=0, \delta=0, d\delta/dt=\omega_0$, где ω_0 – угловая скорость валка, 1/с. С учетом начальных условий зависимость для определения дуги соприкосновения металла с валками принимает вид:

$$\delta = \frac{\omega_0}{\beta_1} \sin \beta_1 t \quad (5)$$

отсюда

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_0 \cos \beta_1 t \quad (6)$$

С учетом (6) зависимость для определения скорости гильзы принимает вид:

$$V_r = R \cos \alpha \omega_0 \cos \beta_1 t \quad (7)$$

Расчет параметров механической системы пилигримового стана показал, что отношение массы якоря двигателя и маховика к суммарной массе системы, которое называют коэффициентом распределения масс, близка к единице. В связи с этим амплитуда колебаний якоря и маховика в десятки раз меньше амплитуды колебаний валка, а переходный процесс захвата гильзы валками может без больших погрешностей рассматриваться как упругие колебания приведенной массы валка относительно якоря двигателя и маховика, вращающихся с постоянной скоростью. Для одномассовой расчетной модели дифференциальное

уравнение движения валка при наличии упругой связи в переходной стадии захвата имеет вид:

$$J\ddot{\varphi} + c\varphi = -\pi R^3 \delta \tau_k \quad (8)$$

где J – момент инерции валка, $\text{г}\cdot\text{м}^2$ ($\text{кН}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$); φ – угол поворота валка, рад; $\ddot{\varphi}$ – угловое ускорение валка, с^{-2} ; c – жесткость упругой связи, $\text{кН}\cdot\text{м}$.

Подставив δ из (5) в уравнение (8) получим:

$$J\ddot{\varphi} + c\varphi = -\pi R^3 \tau_k \frac{\omega_0}{\beta_1} \sin \beta_1 t \quad (9)$$

$$\ddot{\varphi} + \beta^2 \varphi = h \sin \beta_1 t \quad (10)$$

где

$$\beta = \sqrt{\frac{c}{J}}; c^{-1}; h = \frac{\pi R^3 \tau_k \omega_0}{J \beta_1}, c^{-2} \quad (11)$$

Общее решение дифференциального уравнения (10):

$$\varphi = c_1 \cos \beta t + c_2 \sin \beta t + \frac{h}{\beta^2 - \beta_1^2} \sin \beta_1 t \quad (12)$$

С учетом начальных условий: $t=0, \varphi=0, \dot{\varphi}=0$, решение уравнения (10) принимает вид:

$$\varphi = \frac{h}{\beta^2 - \beta_1^2} \left(\sin \beta_1 t - \frac{\beta_1}{\beta} \sin \beta t \right) \quad (13)$$

Динамический момент крутильных колебаний

$$M^D = \frac{ch}{\beta^2 - \beta_1^2} \left(\sin \beta_1 t - \frac{\beta_1}{\beta} \sin \beta t \right) \quad (14)$$

Исходные данные для расчета, результаты расчета на рис. 1: $\omega_0 = 4,72 \text{ с}^{-1}$, $R_c = 0,27 \text{ м}$, $J = 0,7 \text{ тм}^2$, $c = 9000 \text{ кН м}$, $\alpha = 15^\circ$, $\sigma_n = 105 \text{ МПа}$, $G = 1,87 + 1,66 = 3,53 \text{ т}$, $\beta = 113 \text{ 1/с}$, $\beta_1 = 9,7 \text{ 1/с}$, $h = 1230 \text{ с}^{-2}$, $M^D = 520 \text{ кН м}$.

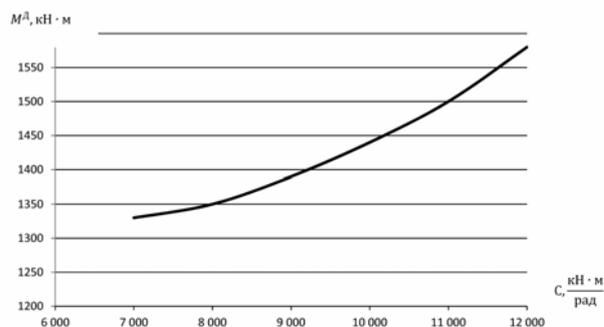


Рис. 1. Зависимость максимальной амплитуды динамического момента от жесткости шпинделей пилигримового стана

Вывод: на основе теоретического исследования динамики захвата гильзы валками пилигримового стана разработана методика расчета максимальных динамических нагрузок, возникающих в линии привода пилигримового стана, при мгновенном приложении нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Тетерин, П.К.* Теория периодической прокатки. – М.: Металлургия, 1978. 256 с.
2. *Лехов, О.С.* Динамические нагрузки в линии привода обжимных станов. – М.: Машиностроение, 1975. 184 с.
3. *Чечулин, Ю.Б.* Измерение нагрузок на шпинделях валков пильгерстана / Ю.Б. Чечулин и др. // Металлург. 2007. №6. С.47-49.

RESEARCH THE DYNAMICS OF BARREL CAPTURE BY PILGER MILL ROLLS

© 2011 Yu.E. Raskatov

Ural Federal University, Ekaterinburg

The design procedure of maximum dynamic loadings in drive line of pilger mill is described at instant load application is described.

Key words: *pilger rolling, algorithm, power requirement, mathematical model, dynamic moment, computational model*