

УДК621.771.

А.С.Хараузов (5 курс, каф. ПОМ), В.Н.Заборцев, к.т.н., доц.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ СТАНИН РАБОЧЕЙ КЛЕТИ ПРОКАТНОГО СТАНА

В настоящей работе приведены результаты исследований, приводимых в рамках анализа расчетных схем и методов расчета станин рабочих клеток прокатных станков, а также разработки некоторых частных методов расчета.

Для упрощения расчетов станину рассматривают как раму, нагруженную вертикальной нагрузкой, являющуюся результатом воздействия опор прокатных валков при прокатке. Однако при прокатке возникают и горизонтальные усилия, главным образом, связанные с опрокидывающим моментом, но ими обычно при расчетах пренебрегают.

Рассмотрим расчетную схему станины, на которую действуют вертикальные усилия Y_1 . Действием опрокидывающей силы пренебрегаем.

Примем следующие обозначения: $Y_2 = Y$ – момент инерции стоек станины; Y_1 – момент инерции верхней поперечины ($Y_1 = pY$); Y_3 – момент инерции нижней поперечины ($Y_3 = lY$); $l_1 = l_3 l$ – длина верхней и нижней поперечины станины. l_2 – длина стойки станины ($l_2 = kl$).

Учитывая симметрию нагружения, задача является дважды статистически неопределенной. Для ее решения применим метод сил. Для каждого из действующих неизвестных единичных усилий и для внешних сил строим эпюры изгибающих моментов.

Канонические уравнения для этой схемы нагружения имеют вид:

$$4kl(3s+3p+2psk)x_1 + 24(s-p)x_2 = 3pl(s-p), \quad (1)$$

$$4kl(s-p)x_1 + 8(s+p+2psk)x_2 = pl(s+p). \quad (2)$$

Решая систему уравнений и вводя замену согласно $kp = m$ и $p/s = n$, получим:

$$x_1 = [P(3mn^2 + 3m - 6mn)] / [8k(1-n)(m^2 + 2mn + 2m + 3n)], \quad (3)$$

$$x_2 = [PL(6n + mn + m)] / [16(m^2 + 2mn + 2m + 3n)]. \quad (4)$$

Если за M_1 и M_3 обозначить моменты, действующие соответственно в углах верхней и нижней поперечин, то:

$$M_1 = pl/16 [((6n+mn+m)/(m^2+2mn+2m+3n)) - ((3mn^2+3m-6mn)/(n-1)(m^2+2mn+2m+3n))] \quad (5)$$

$$M_3 = pl/16 [((6n+mn+m)/(m^2+2mn+2m+3n)) + ((3mn^2+3m-6mn)/(n-1)(m^2+2mn+2m+3n))] \quad (6)$$

Таким образом, получена результирующая эпюра изгибающих моментов и схема нагружения стойки станины и эпюра поперечных сил. Это означает, что изгибающий момент в стойке станины не изменяется. Следует заметить, что расчеты по формулам (5) и (6) дают такие же результаты, как и по формулам А.А. Королева.

С помощью формул А.А. Королева можно также представить горизонтальное усилие x_1 :

$$x_1 = (M_3 - M_1)/l_2 = (M_3 - M_1)/kl. \quad (7)$$

Максимального значения момент в стойке станины достигает при $n = 1$, $m = 1$, $M_1 = M_3 = M_0 = pl$.

Определим значение $(M_1 + M_2)/2$ для типичных геометрических соотношений размеров станины. Примем $n = 1,5$ и $m = 15$, ($p = 5$, $k = 3$). Подставив эти значения в (4),

получим величину $0,0095 pl$, что составляет всего лишь $3,8\%$ от изгибающего момента поперечины ($pl/4$).

Чтобы определить, каково влияние коэффициента $n = M_1/M_3$, подставим в (4) $n=1$. Получим: $(M_1+M_3)/2 = M_0 = 0,008 pl$.

Таким образом, расчеты показывают, что при определении усилий для упрощения расчетов можно принять жесткость верхней и нижней поперечины одинаковыми, т.е. $n = 1$, тем более, что в реальных конструкциях станин эта величина близка к единице и не превышает значения $1,4$.

Выполним расчет внутренних усилий и деформацию совмещенной станины дрессировочного стана, в которой последовательно установлены две пары горизонтальных валков.

Канонические уравнения для данной системы нагружения имеют вид:

$$16 lx_1 + 24 x_2 = 5 pl,$$

$$4 lx_1 + 4(2+pk) x_2 = pl.$$

Решая систему, находим: $x_2 = - pl / 8(1+2m)$; $x_1 = (p(4+5m))/8(1+2m)$, где $m=pk$.

Определим взаимное перемещение в точке приложения внешних сил p от изгибающих моментов и приложим к этой точке единичную силу x . Перемножая эпюры внешних сил и единичной силы x , получим:

$$\Delta p = 3pl^3 / 192EY \quad (8)$$

Для оценки опрокидывающей силы и опрокидывающего момента воспользуемся опытными данными при прокатке на блюминге 1000[2]: $h=80$ мм; $B=590$ мм; $D=1000$ мм; $R_{ср}=68,6$ МПа.

Полное давление и момент прокатки определим расчетом, предполагая: $\psi=0,45$; $l = (0,5 \cdot 1000 \cdot 80)^{1/2} = 200$ мм.

Полное давление: $P = lBR_{ср} = 0,200 \cdot 0,590 \cdot 68,6 = 8,1$ Мн; момент прокатки: $M_{пр} = 2 \cdot 8,1 \cdot 0,2 \cdot 0,4 = 1,3$ Мн м; опрокидывающая сила: $Q_{пр} = M_{пр} / 0,5D = 1,3 / 0,5 = 2,6$ мН. Как видно, опрокидывающая сила составляет почти одну треть от полного усилия при прокатке.

Опрокидывающий момент действующий на одну станину равен: $M_{оп} = S Q a$, где Q – расстояние от оси прокатки до плоскости крепления станины к плитовине.

Определим опорные реакции, т.е. усилия, действующие на болты крепления станины к плитовинам. Из условий равновесия станины, как жесткой рамы, следует:

$$x_a = Q; Y_a = Y_b = 1/2 Q a / l = 1/2 M_{пр} a / 0,5Dl$$

Величина a зависит от типа стана, диаметра валков, положения линии прокатки и от ряда других факторов. Однако для обжимных станов отечественных конструкций ее можно считать равной $1,5$ м. Полагая $l=2,0$ м, получим: $Y_a = Y_b = 1/2 \cdot 2,6 \cdot 1,5 / 2,0 = 0,975$ МН. Если принять, что эта нагрузка распределяется на два болта, то диаметр болта вычисляется из условия:

$$d = (4Y_a / 2\pi[\sigma])^{1/2} = (4 \cdot 0,975 / 2 \cdot 3,14 \cdot 45)^{1/2} = 117 \text{ мм},$$

где $[\sigma] = \sigma_T / n = 245 / 5 = 49$ МПа (для стали 20).

В этом расчете хотя и не учтены касательные напряжения, вызванные действием перерезывающей силы $x_a = Q$, но явно видно, что широко распространенные рекомендации касающиеся назначения диаметра крепежных болтов, равными $0,1D$ (где D -диаметр валка) явно занижены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов.- М. 1987.
2. Чекмарев А.П. и др. Теория прокатки крупных слитков.- М., 1968