

## РАСЧЕТ КАТАЮЩЕГО РАДИУСА ВАЛКОВ С ЗАКРЫТЫМИ КАЛИБРАМИ ТРУБОСВАРОЧНОГО АГРЕГАТА (ТЭСА)

*В.Б. Буксбаум, М.В. Усова*

## CALCULATION OF ROLLING RADIUS OF ROLLS IN MILLS WITH CLOSED CALIBERS OF THE TUBE WELDING AGGREGATE

*V.B. Buksbaum, M.V. Usova*

Предложена методика расчета катающего радиуса валков в клетях с закрытыми калибрами через условие равенства площадей полной поверхности валка в зонах опережения и отставания. Разработан математический аппарат. Выполнен расчет катающего радиуса и габаритов верхних валков двух последних клетей (четвертой и пятой) трубозлектросварочного агрегата для двух типоразмеров труб.

*Ключевые слова:* формовка труб, закрытый калибр, скоростные условия процесса формовки, катающий радиус.

The technique of calculation the rolling radius of the rolls in mills with closed calibers is presented by using the equality condition of the full roll's surfaces in forward slip and backward slip areas. The mathematical tool is developed. The calculation of rolling radius and dimension of the rolls in two last mills (4th and 5th) of welding aggregate is carried out.

*Keywords:* tube forming, closed caliber, velocity conditions of the process, rolling radius.

В процессе производства труб на трубозлектросварочных агрегатах (ТЭСА) важно правильно определять катающий радиус валка не только для станков с групповым приводом, но и при индивидуальном приводе клетей. Для станков с групповым приводом правильный расчет катающего радиуса позволяет равномерно распределить нагрузку по клетям ТЭСА. На станах с индивидуальным приводом эта проблема решается регулировкой приводов. Однако и на таких станах для формовочных клетей с закрытыми калибрами большое значение имеет распределение нагрузки между верхним и нижним валками, особенно в тех случаях, когда запас мощности и прочности привода отсутствует.

Как известно, связь линейной и угловой скоростей определяется из соотношения

$$v = \omega R,$$

где  $v$  – линейная, а  $\omega$  – угловая скорость металла, которую можно принять постоянной для всех клетей.

Катающий радиус валка ( $R_{кат}$ ) определяется положением точки на поверхности ручья, в которой линейная скорость валка равна скорости трубной заготовки (трубы). В зависимости от условий деформации в калибре, он может изменяться в диапазоне от радиуса валка по дну ручья до радиуса по реборде. При расчетах калибровки принимается то или иное его значение (обычно по дну ручья). Также за катающий радиус можно принять радиус, соответствующий величине средней скорости точек на поверхности валка [1].

Положение катающего радиуса можно определить из условия равенства моментов сил трения

в зоне опережения и зоне отставания, задав в аналитическом виде кривую, ограничивающую проекцию контактной площади, и распределение удельных давлений на площади контакта [2].

В работе В.П. Анисифорова, к примеру, фактическая контактная поверхность валка с трубой заменяется эквивалентной, имеющей в развертке форму прямоугольника, равной площади [3].

В данной работе предложена методика и выполнен расчет катающего радиуса валков с закрытыми калибрами ТЭСА 51-152 ОАО «Уралтрубмаш». Калибры клетей двухрадиусные: периферийные участки – выполнены радиусом близким к радиусу готовой трубы, постоянным для обеих клетей (верхний валок), центральный участок – радиусом, постоянным в данной клетке, но уменьшающимся при переходе от четвертой клетки к пятой.

В качестве условия, определяющего положение катающего радиуса, было выбрано следующее предположение: поперечное сечение валка, проходящее через его катающий радиус, делит полную площадь поверхности каждой из двух симметричных его половин на две равные части.

Данное условие можно считать эквивалентным непосредственному условию равенства крутящих моментов сил трения в этих зонах в силу того, что площадь поверхности вращения численно пропорциональна произведению радиуса валка на площадь контакта в зонах опережения и отставания, а также учитывая, что величина деформации в калибрах и, как следствие, длина зоны контакта, малы.

Рассмотрим продольное сечение нижнего валка (см. рисунок).

Профиль ручья примем за окружность с центром, лежащим выше реборды валка (на величину поправки  $\Delta$ , одинаковой для верхнего и нижнего валков и равной 3 мм). Начало координат поместим в центр сечения и рассмотрим область, ограниченную отрезком  $[0, r_H^*]$ , где

$$r_H^* = r_H \cos[\arcsin(\Delta/r_H)], \quad r_H^* < r_H.$$

Каноническое уравнение окружности в данном случае имеет вид

$$y^2 + (x+c)^2 = r_H^2, \quad \text{где } c = r_H + L.$$

Радиус ручья нижнего валка является технологическим параметром и в данной задаче равен 125 мм.

Площадь поверхности валка определяется площадью поверхности вращения, вычисляемой интегрированием с подынтегральной функцией, полученной из уравнения окружности  $y(x) = \sqrt{r_H^2 - x^2} - c$ :

$$Q = 2\pi \int_a^b f(x) \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx = \\ = 2\pi \int_0^{R_{кат}} \left( \sqrt{r_H^2 - x^2} - c \right) \sqrt{1 + \frac{x^2}{r_H^2 - x^2}} dx.$$

Область интегрирования разбивается точкой  $a$  из отрезка  $[0, r_H^*]$ , соответствующей положению катающего радиуса, на две области, где значения определенных интегралов, а следовательно, и площади поверхностей равны. Из решения определенного интеграла с соответствующими пределами получаем уравнение для определения параметра  $a$ :

$$a = k + c \arcsin(a/r_H).$$

В данном выражении величина  $k$  определяется зависимостью

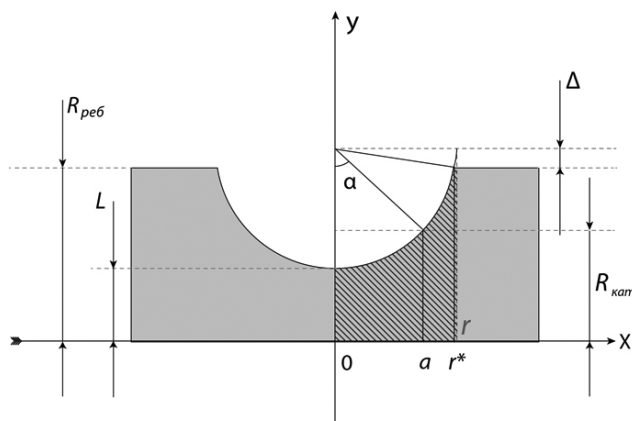
$$k = \frac{r_H^*}{2} - \frac{c \arcsin(r_H^*/r_H)}{2}.$$

Данное уравнение решается численно с соответствующими константами для различных размеров калибров и валков. Заметим, что поправка  $\Delta$  не вносит изменения в общий ход решения, а влияет лишь на величину константы  $k$  и в более грубом приближении может не учитываться.

Катающий радиус  $R_{кат}$  и угол  $\alpha_H$ , ему соответствующий, вычисляются далее из геометрических соображений:

$$R_{кат} = c - \sqrt{r_H^2 - a^2};$$

$$\alpha_H = \arcsin(a/r_H).$$



Продольное сечение нижнего валка:  $R_{кат}$  – катающий радиус валка;  $a$  и  $\alpha$  – соответственно расстояние и угол, определяющие положение катающего радиуса;  $r_H$  – радиус нижнего калибра;  $L$  – радиус валка в вершине калибра (радиус ручья);  $R_{реб}$  – радиус валка по реборде;  $\Delta$  – расстояние от края реборды до центра окружности калибра;  $r^*$  – расстояние от оси ручья до реборды по оси  $X$

Расчет катающего радиуса и габаритов валков

Типоразмер трубы, мм	133 × 7		114 × 7	
№ клетки	4	5	4	5
$r_H$ , мм	82,2	73,5	72,5	62,5
$r_B$ , мм	66,5	66,5	57,0	57,0
$\alpha_H$ , °	50,0	49,5	49,3	48,4
$\alpha_B$ , °	56,2	50,7	56,7	49,8
$R_{кат}$ , мм	154,4	150,6	150,2	146,0
$D_{реб.в}$ , мм	376,9	379,5	357,0	359,6
$D_{руч.в}$ , мм	256,2	252,9	256,2	251,9

---

Катающий радиус верхнего валка равен катающему радиусу нижнего валка. Исходя из этого условия и предположения, что положение катающего радиуса на верхнем валке определяется тем же условием, что и на нижнем, численным методом определяем размеры верхнего валка. Поправка на величину  $\Delta$  также учитывается при расчете.

В таблице приведен расчет катающих радиусов и габаритов валков четвертой и пятой клетей формовочного стана для двух типоразмеров труб. Положение катающего радиуса на верхнем валке задается углом, отсчитанным от вертикальной оси, проходящей через центр окружности, образующей ручей валка.

Валки по указанным в таблице размерам были изготовлены и установлены на ТЭСА 51-152, что позволило снизить поломки карданов и износ валков.

#### *Литература*

1. Чекмарев, А.П. Теория трубного производства / А.П. Чекмарев, В.М. Друян. – М.: Металлургия, 1976. – 304 с.
2. Матвеев, Ю.М. Калибровка инструмента трубных станов / Ю.М. Матвеев, Я.Л. Ваткин. – М.: Металлургия, 1951. – 412 с.
3. Теория редуцирования труб / В.В. Ериклинцев, Ю.И. Блинов, Д.С. Фридман, Л.М. Грабарник. – Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1970. – 230 с.

*Поступила в редакцию 14 сентября 2011 г.*