

К МЕТОДИКЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ КОРПУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ

Методы и средства геодезического контроля прямолинейности и соосности крупногабаритных агрегатов требуют в некоторых случаях дополнительных измерений, целью которых является определение формы их основных деталей и узлов. В частности, существующие геодезические методы контроля прямолинейности осей корпусов вращающихся печей с помощью лазерных [2] или оптических приборов [1] заключаются в фиксации отклонений центров поперечных сечений относительно створной линии, закрепленной центрами двух из них. Центр сечения отыскивается обычно как центр тяжести замкнутой кривой. В зависимости от конкретных условий и требований технологического процесса монтажа или ремонта число точек контура сечения, по координатам которых находят центр сечения, изменяется от 4 до 24 (большее число точек не сказывается на повышении точности отыскания центра).

Согласно допускам форма основных деталей опорного узла вращающейся печи-бандажа и подбандажной обечайки может отличаться от круговой цилиндрической. Овальность подбандажной обечайки (разница между наибольшим и наименьшим диаметрами) в зависимости от ее толщины равна 10—20 мм, а бандажа — 3 мм. В действительности эти отклонения зачастую превышают допустимые и достигают 30—35 мм для обечаек и 20 мм для бандажей.

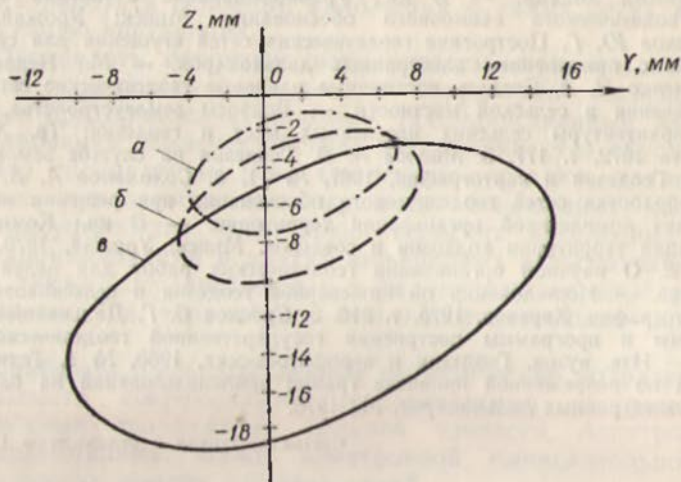


Рис. 1. Схема сечения опорного узла.

Геодезический контроль прямолинейности оси корпуса печи, как линии, соединяющей центры последовательно расположенных поперечных сечений, производится во время монтажа или остановки агрегата на ремонт. Так как форма деталей опорных узлов отлична от круговой цилиндрической, то во время вращения центр сечения подбандажной обечайки будет менять свое положение в зависимости от угла поворота печи. Детали опорных узлов современных вращающихся печей изготавливаются достаточно жесткими и их можно считать недеформируемыми во время вращения. Поскольку центры сечений подбандажных обечаек перемещаются во время работы печи, то и само положение геометрической оси корпуса будет нестабильным.

Для уяснения положения геометрической оси корпуса рассмотрим движение эллипсной обечайки в эллипсном бандаже. Разобьем бандаж и подбандажную обечайку поперечными сечениями (рис. 1) и определим положение центра сечения обечайки во время вращения. Большие и малые полуоси эллипсов при этом соответственно обозначены a_b и b_b для бандажа и a_o и b_o для подбандажной обечайки. Центр окружности условного радиуса внутренней поверхности сечения бандажа обозначен точкой O , а центр эллипсного сечения бан-

дажа — O_2 . При движении обечайки в бандаже вследствие сил трения имеет место ее накат на внутреннюю поверхность бандаж. Если угол трения ϵ принять равным углу наката, то коэффициент трения $f_0 = \text{tg } \epsilon$.

Для упрощения рассмотрим сначала движение сечения эллипсной обечайки в неподвижном бандаже, которое зададим углом поворота φ подвижной системы координат yO_1z относительно неподвижной YOZ .

Координаты точки сечения обечайки в подвижной системе координат можно записать так:

$$\begin{aligned} y &= (Y - Y_0) \cos \varphi + (z - z_0) \sin \varphi; \\ z &= -(Y - Y_0) \sin \varphi + (z - z_0) \cos \varphi. \end{aligned}$$

Подставив значение координат y и z в каноническое уравнение эллипса обечайки, получим

$$\begin{aligned} U(Y - Y_0)^2 + V(Z - Z_0)^2 - (a_0^2 - b_0^2) \sin 2\varphi \times \\ \times (Y - Y_0)(Z - Z_0) = a_0^2 b_0^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} U &= a_0^2 \sin^2 \varphi + b_0^2 \cos^2 \varphi, \\ Y &= a_0^2 \cos^2 \varphi + b_0^2 \sin^2 \varphi. \end{aligned}$$

Поскольку общая касательная к сечениям в точке касания наклонена к горизонту под углом ϵ , то после подстановки текущих координат Y_N и Z_N в уравнение (1), получим

$$\begin{aligned} U(Y_N - Y_0)^2 + V(Z_N - Z_0)^2 - (a_0^2 - b_0^2) \sin 2\varphi \times \\ \times (Y_N - Y_0)(Z_N - Z_0) = a_0^2 b_0^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Продифференцировав (2) как неявную функцию, имеем

$$\frac{dZ}{dY} = - \frac{2U(Y_N - Y_0) - (a_0^2 - b_0^2) \sin 2\varphi (Z_N - Z_0)}{2V(Z_N - Z_0) - (a_0^2 - b_0^2) \sin 2\varphi (Y_N - Y_0)} = f_0. \quad (3)$$

Решая совместно уравнения (2) и (3), находим

$$\begin{aligned} Y_0 &= Y_N + \\ &+ \frac{a_0 [f_0 (1 + \Pi^2) - (1 - \Pi^2) \sqrt{1 + f_0^2} \sin (2\varphi - \text{arctg } f_0)]}{\sqrt{2 \left\{ 1 + \Pi^2 - (1 - \Pi^2) \left[f_0^2 + (1 + f_0^2) \sin \left(2\varphi + \text{arctg } \frac{1 - f_0^2}{2f_0} \right) \right] \right\}}}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Z_0 &= Z_N - \\ &- \frac{a_0 [f_0 (1 + \Pi^2) - (1 - \Pi^2) \sqrt{1 + f_0^2} \cos (2\varphi - \text{arctg } f_0)]}{\sqrt{2 \left\{ 1 + \Pi^2 - (1 - \Pi^2) \left[f_0^2 + (1 + f_0^2) \sin \left(2\varphi + \text{arctg } \frac{1 - f_0^2}{2f_0} \right) \right] \right\}}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\Pi = \frac{a_0}{b_0}.$$

Y_0 и Z_0 — координаты центра сечения эллипсной обечайки относительно точки O .

В случае вращения бандажа координаты движения точки определяются по зависимостям, полученным аналогично предыдущим

$$Y_N = Y'_0 \pm \frac{a_0 b_0}{\sqrt{U_1 + V_1 W^2 - W(a_0^2 - b_0^2) \sin 2\varphi_1}}; \quad (6)$$

$$Z_N = Z'_0 \pm \frac{a_0 b_0 W}{\sqrt{U_1 + V_1 W^2 - W(a_0^2 - b_0^2) \sin 2\varphi_1}}, \quad (7)$$

где

$$Y'_0 = \frac{(a_0^2 - b_0^2) \sin 2\varphi_1}{4a_0 b_0} \sqrt{\frac{4a_0^2 b_0^2}{U_1} - R_y^2}; \quad (8)$$

$$Z'_0 = \frac{1}{2a_0 b_0} \sqrt{4a_0^2 b_0^2 U_1^2 - U_1^2 R_y^2} - \frac{R_y \sqrt{3}}{2}; \quad (9)$$

$$W = - \frac{2U_1 - (a_0^2 - b_0^2) f_0 \sin 2\varphi_1}{2V_1 - (a_0^2 - b_0^2) \sin 2\varphi_1};$$

$$U_1 = a_0^2 \sin^2 \varphi_1 + b_0^2 \cos^2 \varphi_1; \quad V_1 = a_0^2 \cos^2 \varphi_1 + b_0^2 \sin^2 \varphi_1.$$

R_y — условный радиус эллипса бандажа.

В записанных выражениях Y'_0 и Z'_0 — координаты движения центра сечения бандажа относительно системы координат YOZ , задаваемого углом поворота φ_1 осей эллипса сечения бандажа относительно осей координат.

Координаты движения центра поперечного сечения эллипсной обечайки, движущейся в эллипсном бандаже относительно начала координат, помещенного в центре окружности условного радиуса эллипса бандажа, будут иметь вид:

$$Y_0 = \frac{(a_0^2 - b_0^2) \sin 2\varphi_1}{4a_0 b_0} \sqrt{\frac{4a_0^2 b_0^2}{U_1} - R_y^2} \pm \frac{a_0 b_0}{\sqrt{U_1 + V_1 W^2 - (a_0^2 - b_0^2) \sin 2\varphi_1}} + \frac{a_0 [f_0 (1 + \Pi^2) - (1 - \Pi^2) \sqrt{1 + f_0^2} \sin (2\varphi - \arctg f_0)]}{\sqrt{2 \left\{ 1 + \Pi^2 - (1 - \Pi^2) \left[f_0^2 + (1 + f_0^2) \sin \left(2\varphi + \arctg \frac{1 - f_0^2}{2f_0} \right) \right] \right\}}}; \quad (10)$$

$$Z_0 = \frac{1}{2a_0 b_0} \sqrt{4a_0^2 b_0^2 U_1 - V_0^2 R_y^2} - \frac{R_y \sqrt{3}}{2} \pm$$

$$\pm \frac{a_0 b_0 W}{\sqrt{U_1 + V_1 W^2 - W(a_0^2 - b_0^2 \sin 2\varphi_1)}}$$

$$\frac{a_0 [f_0 (1 + \Pi^2) - (1 - \Pi^2) \sqrt{1 + f_0^2} \cos (2\varphi - \operatorname{arctg} f_0)]}{\sqrt{2 \left\{ 1 + \Pi^2 - (1 - \Pi^2) \left[f_0^2 + (1 + f_0^2) \sin \left(2\varphi + \operatorname{arctg} \frac{1 - f_0^2}{2f_0} \right) \right] \right\}}} \quad (11)$$

Исходя из условий монтажа и учитывая тепловое расширение обечайки и бандажа, величины b_0 и a_0 связаны зависимостью $b_0 = a_0 + \delta$ ($\delta = 2,5 - 5$ мм). Вследствие этого во время работы печи происходит взаимное перемещение наружной поверхности обечайки и внутренней поверхности бандажа. Угол поворота обечайки φ опережает угол поворота бандажа φ_1 и положение поперечных сечений, заданное положение осей координат относительно друг друга может быть произвольным, поскольку точка касания сечений за один оборот перемещается на величину 2δ .

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что центр поперечного сечения эллипсной обечайки во время работы печи постоянно перемещается, совершая сложное движение. Оно будет состоять из серии последовательных элементарных поворотов вокруг мгновенных центров вращения сечений.

Численные результаты для всех возможных взаимных положений сечений бандажа и подбандажной обечайки при значениях углов φ и φ_1 , равных $0 \dots 360^\circ$, с интервалом 15° были получены на ЭЦВМ «Минск-32». Исходными данными служили размеры деталей вращающихся печей диаметрами 3,6; 4; 4,5 и 5 м.

Расчет по зависимостям (10), (11) был произведен для трех случаев:

а) $a_0 - b_0 = 5$ мм; $a_6 - b_6 = 1,5$ мм — эллипсность бандажа и подбандажной обечайки находится в пределах допуска;

б) $a_0 - b_0 = 5$ мм; $a_6 - b_6 = 5$ мм — эллипсность бандажа превышает допустимую, эллипсность подбандажной обечайки находится в пределах допуска;

в) $a_0 - b_0 = 10$; $a_6 - b_6 = 10$ — эллипсность бандажа и подбандажной обечайки превышает допустимую.

Для всех случаев принято $\delta = 2,5$ мм.

В результате обработки полученных данных были определены области возможных положений центра сечения обечайки (рис. 2 кривые а, б, в, для каждого случая соответственно).

Согласно принятому интервалу, было построено по 24 траектории движения центра сечения подбандажной обечайки для каждого из трех случаев. Линии графиков соединяют крайние точки траекторий и представляют собой контуры областей возможных положений центра сечения подбандажной обечайки во время работы печи. Величины областей зависят только от величины отклонений формы сечений бандажа и подбандажной

обечайки. Даже в случае допустимых отклонений (рис. 2, кривая *a*) крайние точки контура области лежат вне поля допуска на искривление оси вращения печи.

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что с целью повышения точности геодезического контроля прямолинейности геометрической оси корпуса вращающейся печи его следует проводить в нескольких положениях корпуса (по меньшей ме-

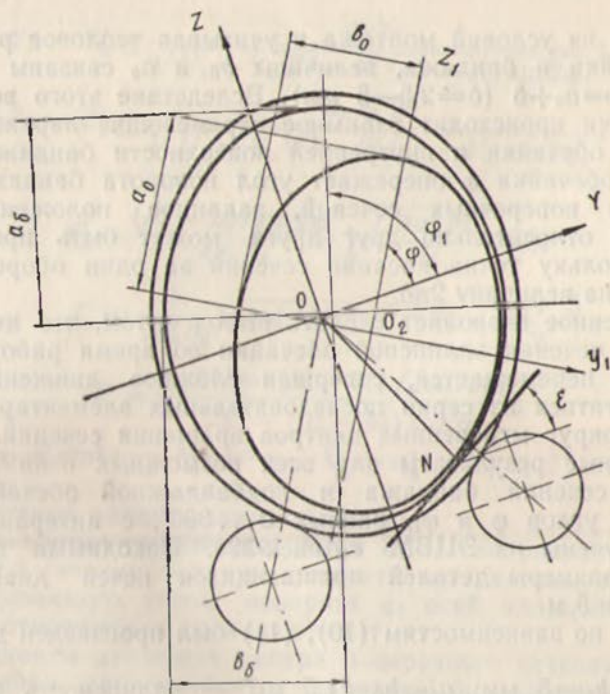


Рис. 2. Области возможных положений центра сечения подбандажной обечайки:

a — $a_0 - b_0 = 5$ мм; $a_6 - b_6 = 1,5$ мм; *б* — $a_0 - b_0 = 5$ мм; $a_6 - b_6 = -5$ мм; *в* — $a_0 - b_0 = 10$ мм; $a_6 - b_6 = 10$ мм.

ре в двух), отстоящих друг от друга на угол поворота, близкий к 90° .

Усредненные результаты контроля будут в большей мере соответствовать действительному положению геометрической оси корпуса во время работы печи, что благотворно сказывается на работоспособности агрегата.

Список литературы: 1. Микольский Ю. Н., Ханжонков Ю. С. О методе проверки прямолинейности корпуса вращающейся печи. — Цветные металлы, 1973, № 10. 2. Островский А. Л., Шевченко Т. Г., Гребенюк В. Г. Контроль геометрической оси корпуса вращающейся печи с помощью лазерного луча. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1979, вып. 29.