

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI:10.12737/article_5a5dbf097daa83.55055808

Федоренко М.А., д-р техн. наук, проф.,
Бондаренко Ю.А., д-р техн. наук, проф.,
Погонин А.А., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ОТКЛОНЕНИЙ КОРПУСА ЦЕМЕНТНОЙ ПЕЧИ НА ОПОРНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

kdsm2002@mail.ru

Эксплуатируемое вращающееся оборудование производства строительных материалов характеризуется производительностью, качеством продукции, себестоимостью, надежностью, безопасностью, фондоотдачей, энерговооруженностью и так далее. Потеря работоспособности оборудования происходит не только в результате длительной эксплуатации, но и так же на этот процесс оказывают влияние условия эксплуатации, определенные круглосуточной работой, высокими нагрузками, работой под открытым небом, большое количество пыли, значительные перепады температур, агрессивность рабочей среды и др. Различные физические и химические процессы, которые оказывают отрицательное воздействие на материалы, из которых выполнены детали, также приводят к потере работоспособности, усталости металла и снижению их прочности. Обеспечение требуемого уровня технического состояния вращающегося оборудования определяет необходимость решения проблемы совершенствования технологических методов и системы восстановления работоспособности на основе внедрения современных диагностических средств. Решение проблемы включает разработку новых деталей, узлов и оборудования и новых монтажно-сборочных технологий, обеспечивающих своевременное восстановление работоспособности путем разработки новых технологий ремонта и модернизаций оборудования обеспечивающих надежность работы и повышение производительности.

Ключевые слова: цементная печь, материал, корпус, базирование, погрешность установки, работоспособность, нагрузки, износ.

Введение. Интенсификация развития промышленности производства строительных материалов возможна при комплексном решении технических и экономических задач, которые связаны с оптимизацией технической базы предприятий производства строительных материалов, что предусматривает оснащение предприятий современным оборудованием и поддержание технического состояния имеющегося парка агрегатов на заданном уровне, при котором обеспечивается его требуемая работоспособность и качество выпускаемой продукции при планируемых объемах производства. Если первая задача требует больших капитальных вложений, которые не всегда возможно реализовать, то второе должно быть обязательно исполнено, независимо от типа оборудования и срока его эксплуатации [1–3].

Основная часть. Для равномерного перемещения материала, подлежащего обработке внутри печного агрегата, необходимо чтобы уклон внутренней поверхности был равномерным, без местных выступов, в связи с тем, что

они снижают скорость передвижения материала, повышают толщину стенок и снижают показатели технологического процесса обжига. Эти негативные факторы приводят к трансформации формы корпуса, неоднородному распределению нагрузки на опорные узлы и смещению корпуса [4, 5].

Отклонения корпуса печного агрегата устанавливает вектор погрешности позиционирования:

$$\omega_n = (a_n, b_n, c_n, \lambda_n, \beta_n, \gamma_n) \quad (1)$$

где (a_n, b_n, c_n) – параметры смещения; $(\lambda_n, \beta_n, \gamma_n)$ – параметры поворота.

Составляющие вектора ω_n обуславливаются точностью монтажа корпуса на отправной позиции в бандажах $\omega_n = \omega_y$.

Для установления положения корпуса при его монтаже на бандажах и определения вероятных позиционных отклонений, можно применить аналитические методы теории баз.

При контакте действительных установочных элементов корпуса с сопрягаемыми поверхностями бандажа и опор, теоретические опорные точки выражаются в виде точек контакта, положения координат которых устанавливают элементы вектора погрешности установки ω_y .

Координаты опорных точек контакта в системе, X_p, Y_p, Z_p возможно представить двумя группами:

- нормальными $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ устанавливающими отклонения опорных точек в нормальном к сопрягаемым поверхностям направлении;
- плановыми X_i, Y_i, Z_i устанавливающими положения опорных точек на трех базирующих поверхностях.

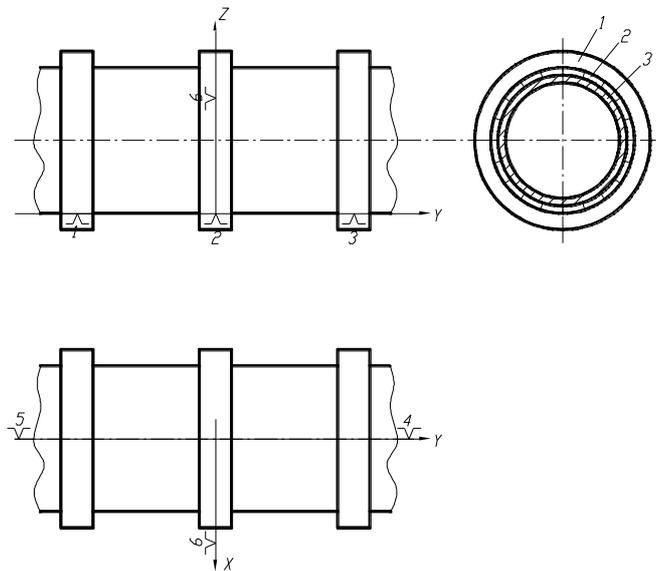


Рис. 1. Схема базирования корпуса вращающегося агрегата:
1 – бандаж; 2 – бапмак; 3 – корпус

Таким образом, погрешность позиционирования или погрешность монтажа корпуса печи возможно определить, используя формулу:

$$\omega_y = Q \cdot T, \tag{3}$$

где Q – матрица налагаемых связей размерности 6×6 ; T – матрица нормальных координат.

Элементы матрицы $Q = |q_{ij}|$ представляют собой линейные функции определенных плановых координат опорных точек $q_{ij} = f(x_i, y_i, z_i)$. В развернутой форме можно записать:

$$\begin{vmatrix} c_y \\ \lambda_y \\ \beta_y \end{vmatrix} = \frac{1}{C} \begin{vmatrix} (x_2 y_3 - x_3 y_2) & (x_3 y_1 - x_1 y_3) & (x_1 y_2 - x_2 y_1) \\ (x_3 - x_2) & (x_1 - x_3) & (x_2 - x_1) \\ (y_3 - y_2) & (y_1 - y_3) & (y_2 - y_1) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta z_1 \\ \Delta z_2 \\ \Delta z_3 \end{vmatrix}, \tag{5}$$

где C – определитель:

Монтаж корпуса реализуется по трем поверхностям (рис. 1) и обуславливается матрицей нормальных координат:

$$T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta x_4, \Delta x_5, \Delta y_6), \tag{2}$$

где $(\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3)$ – нормальные координаты установочной базы, обуславливающие смещение по оси Z и поворот вокруг осей X и Y ; $\Delta x_4, \Delta x_5$ – нормальные координаты направляющей базы, от которых зависит смещение корпуса печного агрегата в направлении оси X и поворот вокруг оси Z ; Δy_6 – координата опорной базы, устанавливающая перемещение вдоль оси Y ;

$$\begin{bmatrix} a_y \\ b_y \\ c_y \\ \lambda_y \\ \beta_y \\ \gamma_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & q_{14} & q_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_{26} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & 0 & 0 & 0 \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & 0 & 0 & 0 \\ q_{51} & q_{52} & q_{53} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_{64} & q_{65} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta z_1 \\ \Delta z_2 \\ \Delta z_3 \\ \Delta x_4 \\ \Delta x_5 \\ \Delta y_6 \end{bmatrix} \tag{4}$$

Соответственно (4), параметры погрешности установки, образованные на установочной базе, вычисляются по следующей зависимости:

$$C = \begin{vmatrix} 1 & y_1 & -x_1 \\ 1 & y_2 & -x_2 \\ 1 & y_3 & -x_3 \end{vmatrix}.$$

В вышеприведенном выражении координаты (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) являются плановыми координатами опорных точек установочной базы (плоскость XOY).

Далее, элементы погрешности установки, определяемые на направляющей базе, можно задать в следующем виде:

$$\begin{vmatrix} a_y \\ \gamma_y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\frac{y_5}{y_4 - y_5} & \frac{y_4}{y_4 - y_5} \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Delta x_4 \\ \Delta x_5 \end{vmatrix}, \quad (6)$$

где y_4 и y_5 , плановые координаты опорных точек направляющей базы (плоскость YOZ).

Элемент b_y , определяемый на опорной базе, обуславливающий смещение корпуса вдоль оси Y задается в следующем виде:

$$b_y = \Delta y_6. \quad (7)$$

Определение численных значений всех составляющих общей погрешности установки (монтажа) корпуса агрегата, по вышеприведенным формулам (5–7), основывается на нахождении числовых величин отклонений нормальных координат опорных точек:

- на установочной $(\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3)$,
- направляющей $(\Delta x_4, \Delta x_5)$,
- и опорной базисах (Δy_6) .

Величины плановых координат всех опорных точек устанавливаются исходя из габаритных значений размеров агрегата и на основании положения системы координат $OXYZ$ на его основных базисах.

Отклонения значений нормальных координат $(\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3)$ определяются как вертикальное отклонение центра корпуса от первоначального установленного положения, обусловленное допуском отклонением от плоскостности базовой поверхности.

Если совокупность случайных величин распределены по закону равной вероятности имеет место равномерная плотность распределения отклонений:

$$F(\Delta z_i) = \begin{cases} 1/h & \text{при } \Delta z_i \in (0, h) \\ 0 & \text{при } \Delta z_i \notin (0, h) \end{cases}.$$

Отклонения значений нормальных координат $\Delta x_4, \Delta x_5$ в плоскости XOY , обусловлены имеющимися зазорами в сопрягаемых деталях и сборочных узлах.

При базировании корпуса агрегата по конструктивно определенным базам численные величины плановых координат (x_i, y_i, z_i) не изменяются. Нормальные координаты опорных точек $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$, характеризуются случайным характером, и их численные величины определяются фактическими отклонениями от заданной геометрической формы базовых поверхностей корпуса агрегата и численными значениями зазора между корпусом и бандажами.

В случае, если между корпусом и бандажами имеется зазор S , может привести к неопределенности базирования корпуса агрегата, при которой элементы ω_y меняются от максимального ω_y^e до минимального ω_y^h значений:

$$\omega_y^e = (a_y^e, b_y^e, c_y^e, \lambda_y^e, \beta_y^e, \gamma_y^e)$$

$$\omega_y^h = (a_y^h, b_y^h, c_y^h, \lambda_y^h, \beta_y^h, \gamma_y^h)$$

Наиболее вероятными отклонениями являются математические ожидания:

$$m(\omega_y) = [m(a_y), m(b_y), m(c_y), m(\lambda_y), m(\beta_y), m(\gamma_y)].$$

Можно определить, как условные математические ожидания наиболее потенциально возможные не нулевые составляющие погрешности установки по следующим математическим выражениям:

- для установочной базы:

$$m[c_y | c_y \neq 0] = \frac{1}{2} h;$$

$$m[\lambda_y | \lambda_y \neq 0] = \frac{1}{4} \cdot \frac{h}{(y_{\max} - y_{\min})};$$

$$m[\beta_y | \beta_y \neq 0] = \frac{1}{4} \cdot \frac{h}{(x_{\max} - x_{\min})}.$$

- для направляющей базы:

$$m[a_y | a_y \neq 0] = \frac{1}{2} S;$$

$$m[\gamma_y | \gamma_y \neq 0] = \frac{1}{6} \cdot \frac{S}{(y_{\max} - y_{\min})}$$

Вывод. В результате применения вышеизложенной методики для повышения работоспособности печного вращающегося агрегата установлено, что необходимо уменьшить биение корпуса печи правильной установкой его на теоретическую ось вращения. Искажение оси (изменение положения оси) вращения корпуса агрегата при-

водит к дополнительным напряжениям в футеровке, в результате чего происходит ее разрушение, возникают дополнительные нагрузки на опорные узлы и механизмы вращения печного агрегата [6, 7].

Динамические нагрузки помимо износа и разрушения футеровки могут влиять на износ бандажей и роликкоопор. Что в результате приводит к потере работоспособности и разрушению некоторых узлов агрегата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Албагачиев А.Ю., Амбросимов С.К., Бавыкин О.Б., Большаков А.Н., Бондаренко Ю.А., Вячеславова О.Ф., Еременко Ю.И., Забелян Д.М., Зайцев С.А., Козлова М.А., Крупеня Е.Ю., Лебедев В.А., Лобанов И.Е., Морозова А.В., Пелипенко Н.А., Пухальский В.А., Рыбак Л.А., Санин С.Н., Санина Т.М., Серебренникова А.Г. и др. Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты. М., 2015. Том VI. С. 59–103.

2. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А. Модернизация цементных печей // В сборнике: Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2017. С. 35–38.

3. Амбросимов С.К., Бондаренко Ю.А., Верещака А.С., Верхотуров А.Д., Киричек А.В.,

Козлов А.М., Ковалева Е.В., Лобанов И.Е., Малютин Г.Е., Мокрицкая Е.Б., Мокрицкий Б.Я., Морозова А.В., Мусаев А.А., Нагоркин М.Н., Нагоркина В.В., Рыбак Л.А., Саблин П.А., Севастьянов Г.М., Федоренко М.А., Федоров В.П. Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты. и др. М., 2016. Том 7. С. 465–506.

4. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Антонов С.И. Проблемы энергосбережения и снижения пыления цементных печей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 156–161.

5. Федоренко М.А., Маркова О.В. Влияние конструкции опорного узла модуля на смещение оси восстанавливаемого вала // В сборнике: Научные технологии инновации Юбилейная международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, XXI научные чтения. 2014. С. 169–174.

6. Белобородов С.М., Бондаренко Ю.А., Верещака А.С., Григорьев С.Н., Иванов А.М., Иванов В.П., Ким А.В., Киричек А.В., Конопляник А.В., Лукин Е.С., Мокрицкий Б.Я., Морозова А.В., Овчинников Е.В., Песин М.В., Прушак В.Я., Прушак Д.А. Технологическое обеспечение качества и ресурса при изготовлении, сборке, ремонте и восстановлении. Под ред. М.: Издательский дом «Спектр», 2012. С. 43–72.

Информация об авторах

Федоренко Михаил Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения.

E-mail: kdms2002@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Бондаренко Юлия Анатольевна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения.

E-mail: kdms2002@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Погонин Анатолий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технология машиностроения.

E-mail: kdms2002@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2017 г.

© Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Погонин А.А., 2018

M.A. Fedorenko, J.A. Bondarenko, A.A. Pogonin

TECHNOLOGICAL METHODS OF COMPENSATION OF DEVIATIONS OF HOUSING THE KILN, THE SUPPORT MEMBERS

Operated rotating equipment of production of construction materials is characterized by productivity, product quality, cost, reliability, safety, capital productivity, energy efficiency and so on. The loss of operability of equipment is not only the result of prolonged use, but also on this process is influenced by the operating conditions, certain round-the-clock operation, high work load, work under the open sky, large amounts of dust,

large temperature changes, the aggressiveness of the working environment etc. of Various physical and chemical processes that have a negative impact on the materials from which made the details also lead to the loss of health, fatigue and reduction of strength. Providing the required level of technical condition of rotating equipment determines the necessity of solving the problems of the improvement of technological methods and system recovery through the introduction of modern diagnostic tools. The solution includes the development of new parts, assemblies and equipment, and new fabrication technologies that provide timely recovery through the development of new repair technologies and equipment upgrades to ensure reliability and increase productivity.

Keywords: cement kiln, material, building, basing, accuracy, performance, load, wear.

Information about the authors

Mikhail A. Fedorenko, PhD., Assistant professor.

E-mail: kdms2002@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Julia A. Bondarenko, PhD., Assistant professor.

E-mail: kdms2002@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Anatoly A. Pogonin, PhD., Assistant professor.

E-mail: kdms2002@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in October 2017