

НАГРУЗКИ В ОПОРНОМ КОЛЬЦЕ МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА СВОДА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ

В конструкции механизма поворота свода электродуговой печи часто используется опорное кольцо [1, 2] на котором устанавливается поворотная колонна с приводом при помощи гидроцилиндра (рисунок 1).

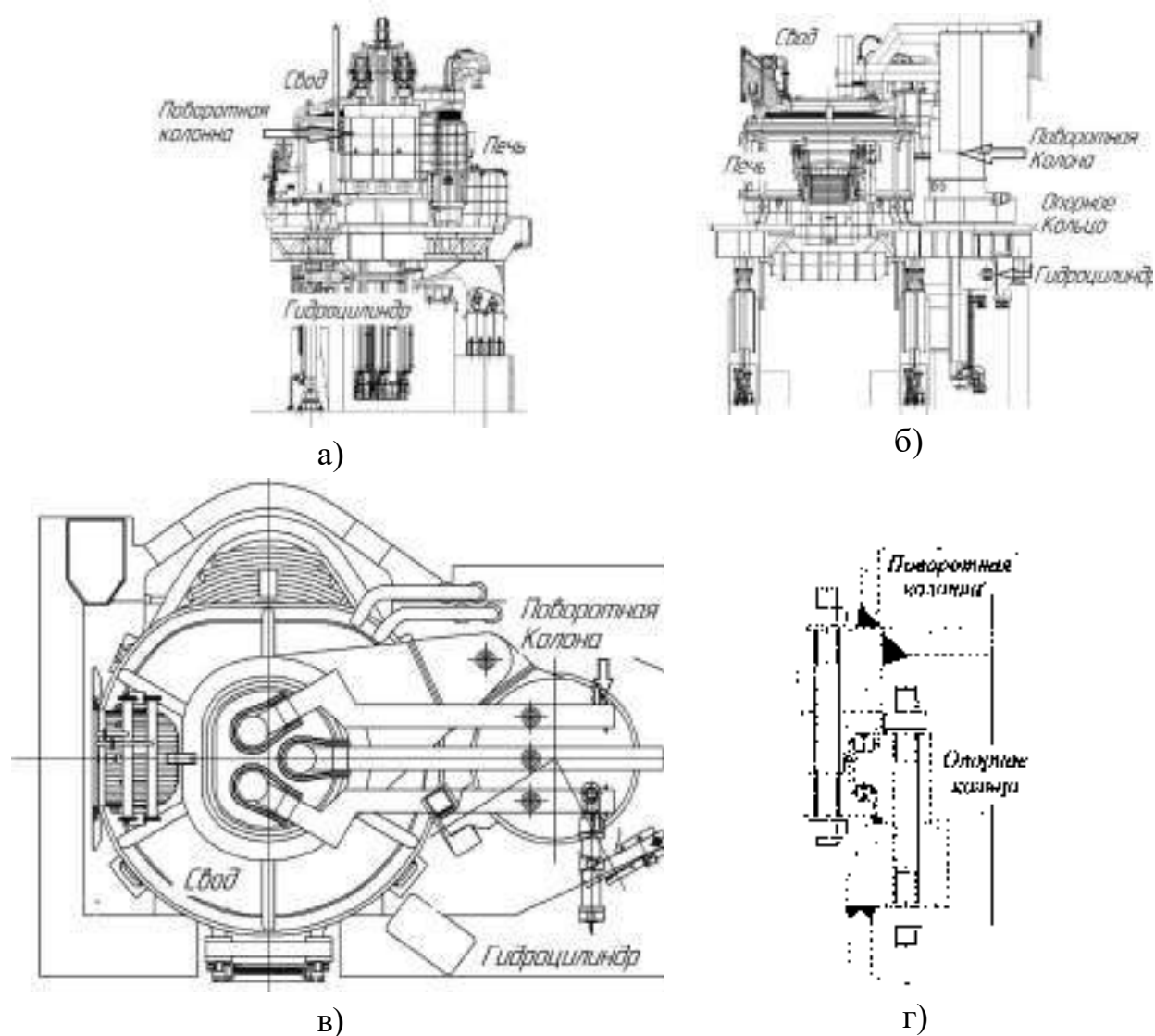


Рисунок 1 – Схема расположения механизма поворота свода относительно конструкций электродуговой печи: а) вид от газоотвода; б) вид от рабочего окна; в) вид сверху; г) опорное кольцо

Поворот свода на угол $70...90^{\circ}$ осуществляется при помощи гидроцилиндра, шток которого крепится к рычагу поворотной колонны (рисунок 1г). Колонна, соединена со сводом печи, имеющим возможность вертикального перемещения. Для поворота колонны на раме печной

платформы установлено трехрядное роликоподшипниковое поворотное кольцо (рисунок 1в). Диаметр опорного кольца составляет 2,5...3,5 м, высота 150...190 мм. Замена опорного кольца приводит к длительной остановке сталеплавильного комплекса: обычно состояние ухудшается внезапно, срок изготовления кольца по индивидуальному заказу составляет 3...4 месяца, длительность замены составляет 3...5 суток из-за необходимости демонтажа и установки поворотной колонны и всех расположенных в ней механизмов.

Расчёт долговечности опорного кольца проводится в соответствии с методикой фирмы Rothe Erde GmbH, изложенной в [2]. Исходными данными являются суммарная вертикальная нагрузка F_a и суммарный опрокидывающий момент M_k (рисунок 2а). Исходя из эмпирического графика допустимых значений нагрузки для базовых 30000 циклов (рисунок 2б) определяется коэффициент нагрузки подшипника f_L для вертикальной нагрузки F_a и опрокидывающего момента M_k :

$$f_L = F_{ao} / F_a;$$

$$f_L = M_{ko} / M_k.$$

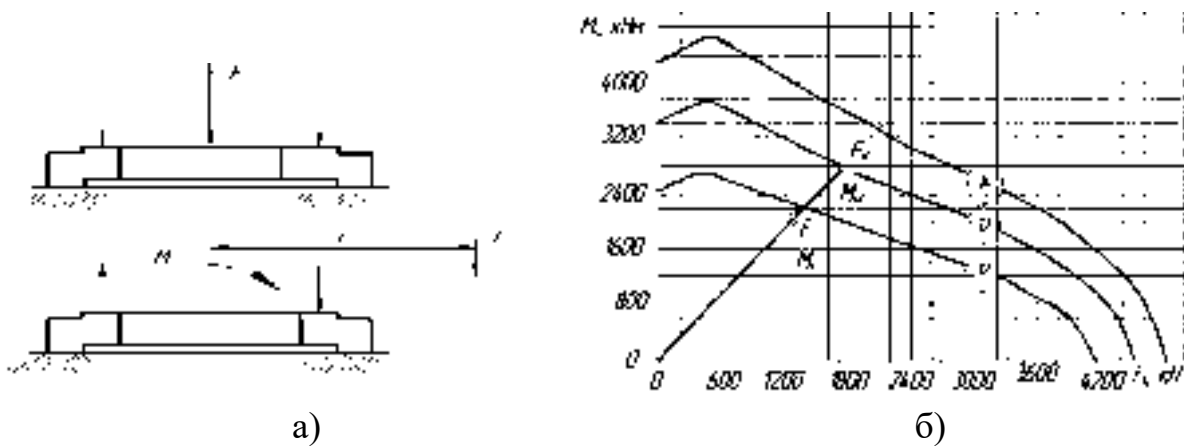


Рисунок 2 - Схема к определению коэффициента нагрузки опорного кольца с условным обозначением 13: а) расположение действующих сил; б) график допустимых значений нагрузки для различных размеров опорных колец с условными обозначениями - 12, 13, 14

Полученное значение использовались для определения срока службы опорного кольца, как допустимого числа циклов работы, рассчитываемого по формуле:

$$G = (f_L)^p \times 30000,$$

где $p = 3$ – показатель степени.

Данный подход является типовым для определения долговечности опорных колец, работающих в длительном или повторно-кратковременном режиме работы с полным поворотом. Расчётный срок службы выполненный для условий ЭДП-120 и ДСП-50 составляет соответственно 5,6 лет и 48,2 года. Фактический срок службы опорных колец составил 4,2 года для ЭДП-120 и 3,1 года для ДСП-50. Если расхождение в 30% для ЭДП-120 вполне допустимо, то 15-ти кратная ошибка для условий ДСП-50 показывает, что методика не учитывает всех факторов работы опорного кольца в составе механизма поворота свода, в частности ограниченный угол поворота, значительную консольную нагрузку и воздействие динамических сил.

Работа опорного кольца связана с воздействием консольной нагрузки, частыми поворотами, односторонним нагревом от дуговой печи и раскалённого свода, запылённой атмосферой и вибрациями при работе электрической дуги. Перспективным является разработка методики расчёта учитывающей фактическое распределение нагрузки в элементах опорного кольца [3] и эксплуатационные воздействия, снижающие долговечность [4]: повышенная температура, вибрация, повышенное трение и неравномерное распределение нагрузки между телами качения.

Установлено, что преобладающим в опорном кольце является осповидное выкрашивание и абразивный износ в ограниченном секторе. Последовательность развития разрушения связана с нарушениями режима смазывания и в общем случае включает:

- окисление смазочного материала под действием повышенной температуры и нарушения условий движения смазки в опорном кольце;
- воздействие динамических нагрузок при работе электрической дуги, особенно в начальный период плавки;
- смешивание окисленного смазочного материала и продуктов износа, приводящих к ускорению абразивного износа.

Редкое смазывание (1 раз в 2...3 суток) и повышенная температура опорного кольца приводят к коксованию смазки. Проведенные измерения температуры в районе опорного кольца показали значения 60...80⁰С, что и приводит к окислению смазки. Контроль температуры опорного кольца показал целесообразность использования воздушного охлаждения опорного кольца в летний период, обеспечивая снижение температуры до 55...60⁰С.

Отслоившиеся частицы металла присутствуют в опорном кольце из-за осповидного износа тел качения и беговых дорожек возникающего при переменных нагрузках и высоких давлениях, превышающих предел выносливости. Накопление продуктов износа в смазке приводит к интенсивному абразивному износу. Вторичными признаками развития повреждений, приводящие к заклиниванию опорного кольца являются: повреждения и разрушения сепаратора, деформация и разворот роликов вдоль беговой дорожки.

Определение закономерностей распределения нагрузок в элементах опорного кольца проведено на основании результатов измерений значений

износа. Установлено, что кольца подшипника в секторе $90...120^0$ не имеют следов износа. Характер износа – однотипен.

Износ верхнего поворотного кольца опорного подшипника расположен симметрично относительно оси свода. Сектор износа верхнего поворотного кольца опорного подшипника меньше, а глубина износа больше по сравнению с неподвижным кольцом. Зависимость между износом и удалением от наиболее нагруженной зоны носит линейный характер.

Износ верхнего поворотного кольца опорного подшипника больше, чем износ неподвижного кольца. Верхний ряд опорных роликов перемещался с проскальзыванием относительно поворотного кольца. Зависимость между износом и удалением от наиболее нагруженной зоны носит линейный характер и выражается функцией:

$$u_B = 0,176x + 17,1 \text{ с достоверностью аппроксимации } R^2 = 0,933;$$
$$u_C = - 0,031x + 5,275 \text{ с достоверностью аппроксимации } R^2 = 0,944;$$

где u_B, u_C – износ верхнего и среднего колец; x – угловая координата.

Преобладание абразивного износа позволяет использовать предположение о пропорциональности между распределением сил на тела качения и диаграммой распределения износа верхнего поворотного кольца, в случае преобладания абразивного износа. Исходя из данного предположения, проведен расчёт фактических напряжений в зоне контакта. Полученные значения 1300...1500 МПа в 2,5...3,1 раза меньше предельного значения 4000 МПа указанного в стандарте [5].

Конкретные значения сектора и глубины износа различны. Однако, результаты расчёта по определению напряжений в зоне контакта показали, что максимальные нормальные напряжения имели один уровень значений. Следовательно, статическая нагрузка не могла послужить причиной возникновения осповидного выкрашивания.

Вибрация опорного кольца изменяется частотой и формой колебаний по режимам работы. Эти различия связаны с технологическими периодами работы электрической дуги. Реализации по этапам плавки отличаются изменением амплитудных значений от 1,8...3,0 м/с² в режиме доводки до 5,5...14,2 м/с² при начале плавки. При работе электрической дуги зафиксированы значения виброскорости 73 мм/с в размахе. Поэтому, снижение срока службы опорного кольца по сравнению с расчётным, связано с увеличенной вибрацией и появлением динамической нагрузки. Ориентировочно оценить значение динамической составляющей можно по формуле:

$$F_{дин} = m \times a = 93 \times 14,2 = 1320 \text{ кН};$$

где m – масса поворотной колонны.

Список литературы.

1. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия: учебник для вузов / Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. - 6-изд., перераб и доп. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005 - 768 с.

2. Rothe Erde GmbH. D-44137. Dortmund. 2004. – 172 с.

3. Сидоров В.А., Аввакумов С.И., Шепель В.М., Золкин И.Г. Определение характера распределения нагрузок в элементах металлургических машин по износу деталей // Научно-технический и производственный журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность», №1, 2006 г. - С. 99 - 102

4. Сидоров В.А. Ускоренный износ опорного кольца свода электродуговой печи // «Сталь». 2015 г. № 5. С. 71 - 75

5. ГОСТ 18854-94. Подшипники качения. Статическая грузоподъемность. Введ. с 01.09. 1996. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 18 с.