

позволяет сформировать полный объем исходных данных для ввода заданий в АСУ ТП, обеспечивающих формирование смешанных железорудных порций с наиболее рациональной для данных шихтовых условий структурой.

Выводы

Сформулированы общие принципы формирования смешанных железорудных порций при загрузке шихтовых материалов в ДП с конвейерной и скиповой доставкой шихты на колошник. Выполнен анализ расчетных показателей распределения компонентов железорудных порций с исходными условиями, характерными для систем с конвейерной и скиповой доставкой шихты на колошник, при различном содержании окатышей в шихте (20,0-70,0 %), и различных значениях массы головной части железорудных порций (0-80,0 % массы порции). Определены зависимости содержания окатышей в пристеночной зоне ДП от массы головной части смешанных железорудных порций ($m_A^{(T)}$), которые с достаточной для практических расчетов степенью достоверности могут быть выражены экспоненциальной функцией (коэффициент достоверности аппроксимации составляет 0,973-0,999). Технологически обоснованное максимальное значение $m_A^{(T)}$ составляет ≈ 50 % общей мас-

сы смешанной железорудной порции. На основании полученных результатов сформулированы основные положения методики определения рациональных параметров формирования смешанных железорудных порций, которые использовались при формировании порций этого вида на ДП № 9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», ДП № 5 ОАО «Северсталь» и ДП № 3 ПАО «Енакиевский МЗ».

Библиографический список

1. Большаков В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. – К.: Наукова думка, 2007. – 412 с.
2. Освоение системы загрузки современной доменной печи / В.И. Большаков, А.Ю. Зарембо, Н.Г. Иванча и др.: Обзор. информ. - М.: Ин-т «Черметинформация». - 1989. - 53 с.

Поступила 20.05.2013



УДК 669.02.09:658.58

Производство

Сидоров В.А. /к.т.н./
Донецкий НТУ

Исследования причин износа опорного кольца механизма поворота свода электродуговой печи

На основании проведенных исследований установлено, что основными причинами повреждений опорного кольца механизма поворота свода электродуговой печи являются абразивный износ в результате нарушения режимов смазывания и накопление продуктов износа в смазочном материале; осповидный износ из-за возникающих динамических сил при работе электрической дуги. Ил. 4. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: электродуговая печь, механизм поворота свода, опорное кольцо, виды механического износа, вибрационные параметры

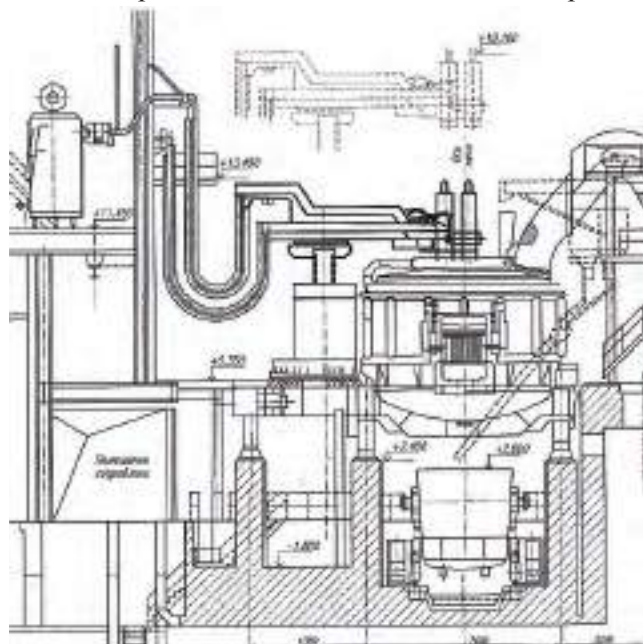
Based on the studies found that the main causes of damage to the support ring rotation mechanism set of electric arc furnace are abrasions as a result of violations of the lubrication regime and the accumulation of wear debris in the lubricant ; ospovidny wear due to the dynamic forces occurring during operation of an electric arc .

Keywords: electric arc furnace , steering gear set , foot ring , the types of mechanical

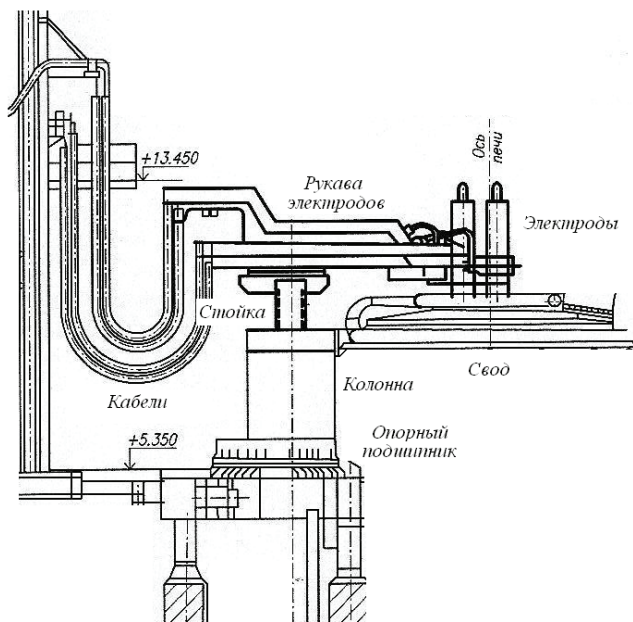
Среди механизмов современной электродуговой печи механизм поворота свода имеет самую низкую ремонтпригодность и, соответственно, должен иметь наибольшую наработку на отказ (рис. 1). Поворот свода печи осуществляется для завалки металлелома и происходит 2-3 раза в течение плавки. При этом последовательно выполняются следующие операции: подъём электродов в верхнее положение,

подъём и поворот свода, далее все операции повторяются в обратной последовательности. Конструктивно механизм выполнен в виде поворотной колонны, установленной на опорном кольце с приводом при помощи гидроцилиндра. В поворотной колонне размещаются механизмы перемещения электродов и подъёма свода. Изготовление опорного кольца требует индивидуального заказа, а замена, тем более вне-

плановая, приводит к длительной остановке агрегата.



а)



б)

Рис. 1. Общий вид электродуговой печи (а) и механизма поворота свода (б)

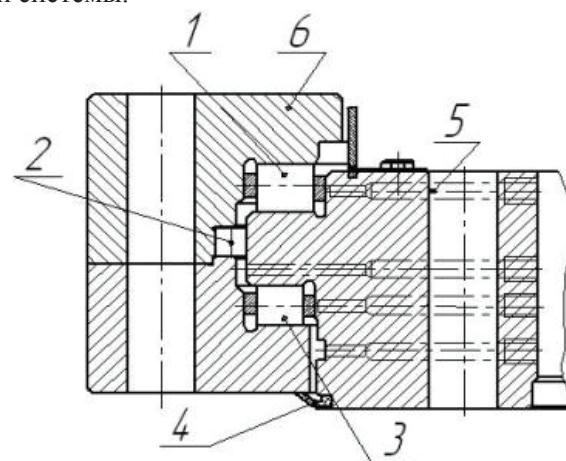
Это наиболее нагруженный механизм, воспринимающий вертикальную и консольную нагрузки от колонны (масса до 60 т) и свода (масса до 50 т). Работа опорного кольца связана с частыми поворотами (100-160 циклов в сутки). Дополнительные факторы: односторонний нагрев от дуговой печи и раскалённого свода, запылённая атмосфера и вибрации при работе электрической дуги. В результате создаются условия для ускоренного износа элементов опорного кольца: сепаратора, колец и тел качения [1, 2]. При отсутствии контроля за техническим состоянием – происходит внезапный отказ и внеплановая остановка. Определение причин износа опорного кольца механизма поворота свода электродуговой печи позволяет

разработать методы контроля и мероприятия по снижению скорости износа.

Проведенные исследования включают визуальный осмотр и определение причин износа, определение закономерностей распределения нагрузок в элементах опорного кольца на основании результатов измерений значений износа, измерение вибрационных параметров опорного кольца.

Характеристика объекта исследования

Поворот свода на угол 70-90° осуществляется при помощи гидроцилиндра, шток которого крепится к рычагу поворотной колонны. Колонна, соединена со сводом печи, имеющим возможность вертикального перемещения. Для поворота колонны на раме печной платформы установлено трехрядное роликоподшипниковое поворотное кольцо (рис. 2). Диаметр опорного кольца составляет 2,5-3,5 м, высота 150-190 мм. Смазка осуществляется при помощи централизованной системы.



а)



б)

Рис. 2. Конструкция (а) и общий вид (б) трехрядного роликоподшипникового поворотного кольца: 1 - опорные ролики; 2 - радиальные ролики; 3 - контропорные ролики; 4 - пыльник; 5 - неподвижное кольцо с каналами для подачи смазки; 6 - подвижное кольцо

Расчет срока службы по значениям вертикальной нагрузки и опрокидывающего момента проводился в соответствии с методикой фирмы производителя Rothe Erde [3]. Исходными данными принималась суммарная масса поворачивающихся элементов и геометрические размеры механизма. Результаты дают повышенные в 2-4 раза значения, по сравнению

с фактическим сроком службы. Это указывает, что предложенная методика не учитывает всех факторов работы опорного кольца в составе механизма поворота, в частности ограниченный угол поворота.

Визуальный осмотр и определение видов механического износа выполнены для трёх повреждённых опорных колец в 2004, 2009 и в 2012 гг.

Анализ причин повреждений (2004 г.). Разборка отказавшего подшипника позволила установить, что полости всех рядов роликов заполнены закоксованной смазкой черного цвета. Особенно высокой плотностью отличалась смазка верхнего, разрушенного ряда роликов (рис. 3а). Преобладающим был абразивный износ из-за окисления (коксования) смазочного материала и накопления продуктов износа в застойной зоне верхнего ряда роликов. Следствием стал ускоренный износ роликов и беговых дорожек верхнего ряда роликоподшипникового кольца, неравномерное распределение сил между телами качения. Это вызвало перекося роликов, прекращение перекачивания тел качения, деформацию роликов верхнего ряда и повреждения сепаратора. Источником абразива послужили продукты изнашивания, не отводимые смазочным материалом с верхнего ряда роликов.



а)



б)



в)

Рис. 3. Визуальный осмотр опорного кольца: а) в 2004 г. - продукты окисления и износа в смазочном материале, повреждения сепаратора и деформация роликов; б) в 2009 г. - продукты износа в смазочном материале верхнего ряда, осповидное выкрашивание беговой дорожки; в) в 2012 г. - абразивный износ беговой дорожки, осповидное выкрашивание на поверхности тел качения

Для повышения долговечности подшипника, было предложено изменить режим смазывания. Одновременно проведены мероприятия по защите под-

шипника от теплового излучения путем установки защитных экранов. Это привело к изменению характера износа подшипника, что зафиксировано при осмотре подшипника замененного в апреле 2009 г.

Анализ причин повреждений (2009 г.). Разборка изношенного подшипника показала, что условия смазывания всех рядов роликов были удовлетворительными. На верхнем ряду роликов присутствовали продукты износа (рис. 3б). На беговых дорожках верхнего кольца преобладало осповидное выкрашивание, возникающее при давлениях, превышающих предел выносливости. Следы осповидного износа зафиксированы на отдельных роликах верхнего опорного ряда. Обнаружены фрагменты поврежденного сепаратора в полости подшипника.

Анализ причин повреждений (2012 г.). Внешние повреждения на опорном кольце отсутствовали. Обнаружена окисленная смазка с удовлетворительной вязкостью (коксования смазки не произошло), изношенный сепаратор, разрушенные части сепаратора, развернутые ролики, некоторые ролики заклинены в окнах сепаратора. После очистки поверхностей установлено наличие абразивного износа (рис. 3в). Отмечено осповидное выкрашивание на телах качения.

Общим для трёх случаев повреждений опорного кольца явилось наличие абразивного и осповидного износа. При этом начальная стадия осповидного выкрашивания могла повысить интенсивность абразивного износа из-за накопления продуктов износа в смазочном материале. Причина возникновения осповидного износа и появление нагрузок, превышающих предел выносливости материала для деталей опорного кольца потребовала проведения дополнительных исследований.

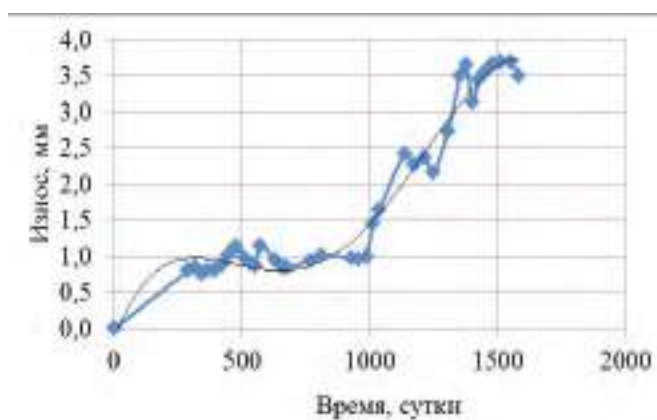
Определение закономерностей распределения нагрузок в элементах опорного кольца проведено на основании результатов измерений значений износа для всех рассмотренных случаев. Установлено, что кольца подшипника в секторе 90-120° не имеют следов износа. Характер износа – однотипен.

Износ верхнего поворотного кольца опорного подшипника расположен почти 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. Полученные зависимости могут быть использованы для определения зоны максимальной нагрузки при проектировании и изготовлении опорного кольца.

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 [4].

Конкретные значения сектора и глубины износа для рассмотренных случаев были различными. Однако, результаты расчета по определению напряжений в зоне контакта показали, что максимальные нормальные напряжения практически не менялись. Следовательно, статическая нагрузка не могла послужить причиной возникновения осповидного выкрашивания.

Исследования закономерностей скорости износа опорного кольца проведены на основании результатов измерения от элемента поворотного кольца до неподвижной фиксированной базы, в соответствии с рекомендациями [3]. Измерения проводились ежемесячно при идентичных условиях расположения свода относительно печи. Получены две реализации. Закономерности износа для наиболее нагруженной точки приведены на рис. 4.



а)

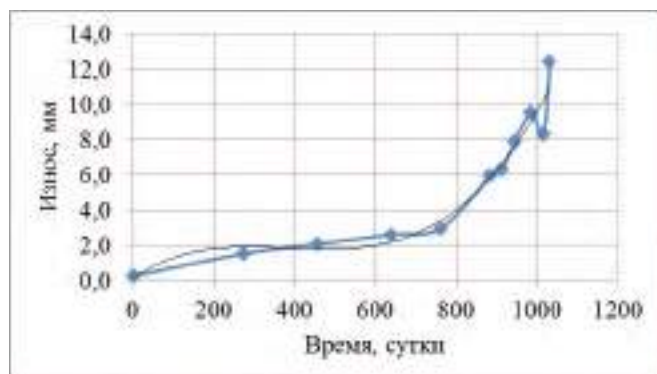


Рис. 4. Изменение зазора наиболее нагруженной точки опорного подшипника: а) результат 1 - уравнение линии тренда $y = -7E-12x^4 + 2E-08x^3 - 2E-05x^2 + 0,0087x - 0,1176$; достоверность аппроксимации $R^2 = 0,968$; б) результат 2 - уравнение линии тренда $y = 4E-08x^3 - 4E-05x^2 + 0,015x + 0,1693$; достоверность аппроксимации $R^2 = 0,953$

Полученные результаты указывают на развитие повреждения по модели развития износовых повреждений [5], с различными параметрами. В первом случае, скорость износа резко увеличилась после 1,0 мм, а во втором после 3,0 мм. Различно и время установившейся скорости износа. Это возможно объяснить характеристиками индивидуального изготовления и различиями в условиях эксплуатации - действующими фактическими силами, жесткостью элементов

конструкции.

Исследования вибрационных параметров опорного кольца проведены для оценки состояния опорного кольца и действующих сил во время плавки и работы электрической дуги.

На первом этапе исследований основной целью измерения вибрационных параметров являлась оценка технического состояния опорного кольца. Проводились измерения временного сигнала виброускорения при помощи спектроанализатора вибрации 795М на опорном кольце механизма поворота при открытии и закрытии свода. Крепление датчика осуществлялось при помощи магнита. Направление измерений – горизонтальное, в точке, ближайшей к печи. Контролируемый частотный диапазон 2-400 Гц. Полученные результаты указывали на следующие факты:

- малый размах значений виброускорения – до $1,0 \text{ м/с}^2$;
- увеличение значений виброускорения при повреждении до $6,0-9,0 \text{ м/с}^2$;
- форма вибрационного сигнала позволяет фиксировать: затухающие колебания при начале движения, задевания при повороте, движение исправного и неисправного опорного кольца;
- временная реализация вибрационного сигнала виброускорения, соответствующая удовлетворительному состоянию, имеет стабильный характер с частотой 6,7-6,9 Гц (145-149 мс) с малыми амплитудными значениями (размах $0,79 \text{ м/с}^2$).

Второй этап исследований связан с измерением вибрационных параметров на опорном кольце во время плавки и воздействия электрической дуги. Измерение вибрационных параметров проведено на опорном кольце, в точке ближайшей к печи, в вертикальном направлении. В данной конструкции опорный подшипник является наиболее податливым элементом. Силы, возникающие при работе электрической дуги возбуждают колебания поворотной колонны, люльки и передаются на фундамент.

Спектральный состав вибрационных колебаний включает составляющие, определяемые состоянием металлических конструкций печи и работой электрической дуги. Так, измерения проведенные до ремонта содержали составляющие на частоте 8, Гц, 17 Гц (резонансная частота элементов конструкции), 100 Гц, 200 Гц, 300 Гц – составляющие от воздействия электрической дуги. Отмечено присутствие ударных нагрузок. После ремонта спектральный состав изменился – появилась модуляция вибрационного сигнала частотой 2 Гц основной частоты 50 Гц. Ударные нагрузки не зафиксированы.

Временная форма сигнала содержит несколько режимов работы, отличающихся частотой и формой колебаний. Эти различия связаны с технологическими периодами работы электрической дуги. Реализации по этапам плавки отличаются изменением амплитудных значений от $1,8-3,0 \text{ м/с}^2$ в режиме доводки до $5,5-14,2 \text{ м/с}^2$ при начале плавки. При работе электрической дуги зафиксированы значения виброскорости до 73 мм/с в размахе. Следовательно, увеличение ско-

рости износа опорного кольца связано с увеличенной вибрацией и динамической нагрузкой.

Выводы

1. На основании анализа видов механического износа установлено, что основными причинами повреждений опорного кольца механизма поворота свода электродуговой печи являются: абразивный износ в результате нарушения режимов смазывания и накопления продуктов износа в смазочном материале; осповидный износ из-за возникающих динамических сил при работе электрической дуги.

2. Параметры износа колец позволили определить закономерности распределения нагрузки в опорном кольце между телами качения и рассчитать фактические напряжения в зоне контакта. Контактные напряжения наиболее нагруженных роликов опорного кольца в статическом режиме не превышают допустимых значений.

3. Полученные результаты измерения временного сигнала виброускорения на опорном кольце механизма поворота при повороте свода показали увеличение значений виброускорения при увеличении скорости износа от 1,0 м/с² до 6,0-9,0 м/с²; возможность определения затухающих колебаний при начале движения, задевания при повороте, движения исправного и неисправного опорного кольца.

4. Проведены измерения вибрационных параметров на опорном кольце во время плавки и воздействия электрической дуги. Увеличение скорости износа опорного кольца может быть связано с увеличенной вибрацией и соответственно, динамической нагрузкой. Амплитуда виброускорения при начале и

окончании плавки отличается в 10 раз. Контроль вибрации в процессе плавки позволит контролировать накопление повреждений в металлоконструкциях и деталях опорного кольца.

5. Снижение вибрационных параметров и скорости износа опорного кольца возможно при изменении конструкции люльки и крепления опорного кольца, использовании амортизирующих материалов, обеспечении равномерной затяжки резьбовых соединений в процессе эксплуатации.

Библиографический список

1. Сидоров В.А., Аввакумов С.И., Шепель В.М., Золкин И.Г. Определение характера распределения нагрузок в элементах металлургических машин по износу деталей // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* - 2006. - № 1. - С. 99-102.

2. Сидоров В.А. Оценка состояния механизма поворота свода электродуговой печи // *Главный механик.* - 2010. - № 2. - С. 39-47.

3. Rothe Erde GmbH. D-44137. Dortmund. 2004. - 172 с.

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

5. Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. Модели отказов. Под ред. Б.В.Гнеденко. - М.: Советское радио, 1966. - 166 с.

Поступила 03.04.2013

УДК 621.879

Койнаш В.А., Крупко В.Г. /к.т.н./
Донбасская ГМА

Наука

Теоретические исследования влияния геометрических параметров гусеничных звеньев на работоспособность ходового оборудования землеройных машин

Разработана математическая модель и программное обеспечение для исследования силовых и кинематических параметров в гусеничных звеньях землеройных машин. Показана эффективность применения гусеничных звеньев с модифицированной опорной поверхностью для снижения скорости износа проушин и амплитуды колебаний нагрузок на катки. Ил. 5. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: гусеничное звено, землеройная машина, математическая модель, износ, нагрузка

The mathematical model and the software for the research of power and kinematic parameters of track links of the diggers moving equipment are elaborated. There have been shown the efficiency of application of track links with the modified support surface for reducing the rate of wear out eyelets and the amplitude of vibration and loads upon rollers.

Keywords: track link, digger, mathematical model, wear, load

Введение

Благодаря известным преимуществам, гусенич-

ный ход является наиболее распространенным ходовым оборудованием для такого класса землеройных