

УДК 621.873: 658. 58

Кравченко В.М.<sup>1</sup>, Сидоров В.А.<sup>2</sup>, Буцукин В.В.<sup>3</sup>

### **ОБ УЛУЧШЕНИИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ ХОДОВЫХ КОЛЁС РАЗЛИВОЧНОГО КРАНА**

*Показано, что существующая система контроля технического состояния подшипников качения ходовых колёс механизмов передвижения разливочных кранов одного из металлургических предприятий не обеспечивает надёжное обнаружение повреждений. На основе анализа известных методик диагностики и результатов экспериментального исследования сформулированы направления совершенствования системы контроля, обоснованы требования к приборному обеспечению системы контроля технического состояния подшипников качения ходовых колёс.*

Разливочные краны сталеплавильных цехов и их механизмы передвижения работают интенсивно, в условиях частых пусков, при существенных статических и динамических нагрузках, меняющихся в широком диапазоне. Для механизма передвижения разливочного крана среднее использование по грузоподъемности составляет 0,3...1,0 номинальной величины при ПВ (продолжительности включения) до 30...40 % и числе включений в час 20...300 [1]. Одним из важнейших узлов механизма передвижения разливочных кранов являются подшипники качения, на которые опираются валы и оси ходовых колес. Их внезапный выход из строя приводит к длительному простоя крана в неподготовленном для проведения ремонта месте, что усложняет работу остальных разливочных кранов и ухудшает экономические показатели основных технологических агрегатов сталеплавильного цеха. Так, в мартеновском цехе одного из отечественных предприятий, зафиксированы простои разливочных кранов по причине внеплановых ремонтов, связанных с заменой подшипников качения ходовых колес, доходившие до 16 часов на один ремонт. Срок службы подшипников составил до 1,5 лет, что существенно меньше нормативного срока службы подобных подшипников, установленного для аналогичных условий работы ВНИИПТМАШем на уровне трех – пяти лет [1].

В результате осмотра поврежденных подшипников и анализа их нагруженности в реальных условиях работы установлено, что основными причинами неисправностей могут являться - неравномерное распределение нагрузки между подшипниками одной опоры и износ сепаратора из-за коксования смазочного материала [2]. Эти причины могут приводить к отмеченному в ходе эксплуатации разрушению сепараторов и элементов подшипника с последующим осевым смещением ходового колеса относительно оси – «сходу» колеса, показанному на рисунке. Последовательность разрушения - неравномерная нагрузка на подшипники ходового колеса; коксование смазочного материала; разрушение сепаратора подшипника, вызывающее возникновение осевой силы и сход колеса с оси. Расчетное время работы подшипника при неравномерном распределении нагрузки до 300 суток, при износе сепаратора ~ 30 суток [2], что хорошо согласуется с данными о реальной долговечности. На предприятии используется установившаяся система контроля технического состояния узлов разливочных кранов, основанная на использовании органолептических методов контроля за работающим оборудованием, данных агрегатных журналов и ревизий узлов в ходе плановых ремонтов. Как показала практика, обеспечить своевременное обнаружение повреждений подшипников ходовых колес и, соответственно их плановую замену, эта система не позволяет.

<sup>1</sup>ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

<sup>2</sup>ДонНТУ, канд. техн. наук, доц.

<sup>3</sup>ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

Целью исследования является повышение эксплуатационной надежности разливочных кранов мартеновского цеха за счёт повышения качественного уровня проведения контроля технического состояния подшипников их ходовых колес. Для этого целесообразно разработать и внедрить систему диагностики с использованием современных диагностических приборов и оборудования. В данной работе излагаются результаты предварительного анализа возможности создания такой системы контроля технического состояния подшипников качения ходовых колес механизма передвижения разливочного крана.

С учетом указанного выше минимального срока развития повреждения подшипника качения периодичность контроля предлагается установить ежемесячно.

В общем случае, применительно к техническому состоянию подшипников качения, определяется необходимость проведения следующих ремонтных воздействий: затяжки, смазки, регулировки, замены и восстановления посадочных мест. Затяжка резьбовых соединений не является определяющим фактором разрушения для данного узла. Регулировка подшипников ходового колеса не предусмотрена конструкцией. Повреждения и разрушение подшипника связано с нарушением режима смазывания. Износ посадочных мест, как показал осмотр поврежденных подшипников, не является причиной, определяющей выход из строя. В качестве критерия необходимости замены подшипника ходового колеса механизма передвижения разливочного крана принимаем заключительную стадию разрушения сепаратора.

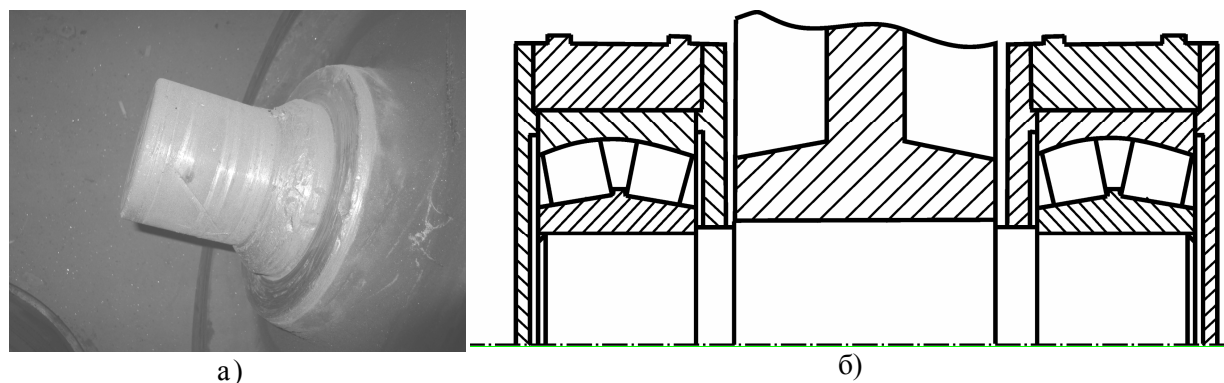


Рис. 1 – Сползание ходового колеса с оси (а) и схема подшипникового узла (б)

Для контроля технического состояния элементов механического оборудования используются, в общем случае, следующие диагностические параметры [3]:

Основные диагностические параметры:

- контроль шумов механизма;
- измерение параметров вибрации;
- контроль температуры узла;
- визуальный осмотр, включая измерение линейных размеров.

Дополнительные диагностические параметры:

- анализ смазки;
- анализ токовых характеристик привода.

Контроль шумов механизма – применяется в цехе, основан на субъективных органолептических ощущениях специалиста и позволяет получить качественную картину состояния подшипников на уровне различения хорошо-плохо. В условиях действующего оборудования невозможно обеспечить эффективное прослушивание шумов при помощи стетоскопа – по правилам охраны труда нельзя находиться на движущемся кране. Как показал опыт эксплуатации, наиболее вероятны повреждения на «внутренних» относительно подкрановых балок подшипниках, практически недоступных для прослушивания. Одним из решений могло бы стать использование ультразвуковых стетоскопов, выпускаемых фирмой SKF. Решение об использовании данных приборов следует принять после проведения пробных измерений.

Измерение параметров вибрации – наиболее эффективный метод обнаружения неисправностей механических систем. Подробнее о предлагаемых мероприятиях, реализующих метод изложено ниже.

Контроль температуры подшипникового узла в исследуемом случае может быть эффективен на интенсивной стадии разрушения сепаратора подшипника после продолжительной (более 1-го часа) работы механизма. Практически такое решение возможно, однако размещение термодатчиков непосредственно в подшипниковом узле и обеспечение надежной передачи сигнала на измерительный прибор в существующих производственных условиях представляется весьма затруднительным. Для контроля температуры предпочтительнее использовать методы бесконтактного измерения температуры при помощи пирометров или тепловизора. Однако, как и в случае с контролем шума механизма, проблема контроля за «внутренними» относительно подкрановых балок подшипниками также не решается.

Визуальный осмотр – применяемый в цехе, позволяет выявить повреждения в виде «схода» ходового колеса с оси или вала, выдавливания торцевых крышек, развивающиеся на последней стадии разрушения подшипника. С точки зрения раннего диагностирования подшипников ходовых колес этот метод существенной ценности не представляет.

Анализ смазки – предполагает выполнение операций контроля за поступлением смазочного материала в зону трения и определение качества смазочного материала. Практически не разрешимым является вопрос отбора проб смазочного материала из корпусов подшипников в процессе эксплуатации, что делает этот способ неприменимым в условиях реальной эксплуатации.

Анализ токовых характеристик привода позволяет по косвенным параметрам – неравномерности токовых характеристик двигателей привода – установить факт увеличения сил сопротивления в подшипниках ходовых колес. Однако причинами неравномерности нагрузок двигателей механизма передвижения могут быть, помимо повреждений подшипников также перекосы валов редукторов; несоосность валов двигателя и редуктора, редуктора и ходового колеса; различие свойств смазочного материала в редукторах и муфтах; неравномерность затяжки резьбовых соединений; неравномерный износ элементов привода. Указанная особенность не позволяет применить данный параметр в качестве диагностического признака для подшипников качения механизма передвижения крана.

Приведенный выше анализ показал, что наиболее приемлемыми в реальных условиях эксплуатации данными, позволяющими оценить состояние подшипников качения являются параметры их вибрации. Рассмотрим подробнее основные вопросы, возникающие при создании системы, основанной на применении методов вибродиагностики.

Вопрос выбора контрольных точек измерения параметров вибрации в рассматриваемом случае решается однозначно благодаря конструкции подшипникового узла. Подшипники установлены без стаканов, по переходной посадке. Зона нагружения расположена сверху. Следовательно, датчик для измерения параметров вибрации должен быть расположен сверху, в радиальном направлении, вертикально, посередине подшипника.

Для выбора частотного диапазона и параметров вибрации проведены предварительные измерения параметров вибрации на действующем оборудовании, при передвижении крана без груза. Использовались приборы: спектроанализатор вибрации 795М, виброметр 107В. Способ крепления датчика – при помощи магнита. Место установки датчика – ходовое колесо, ориентация датчика – вертикальное направление.

Измерения проводились в нескольких частотных диапазонах: 2...400 Гц, 2...1000 Гц, 10...1000 Гц, 10...2000 Гц, 10...4000 Гц. Нижний предел диапазонов был определен исходя из основных информативных частоты подшипника 3632, имеющего следующие данные: частота вращения (при номинальной скорости передвижения крана)  $f_{вр} = 3$  Гц; число тел качения  $z = 15$ ; диаметр тел качения  $d = 45$  мм; угол контакта  $\beta = 140$ ; диаметр окружности, проходящей через центры тел качения  $D = 250$  мм. Расчет по известным [4] зависимостям показал, что частота, связанная с повреждением наружного кольца составляет 18,5 Гц; связанная с повреждением внутреннего кольца – 26,4 Гц; связанная с повреждением тел качения – 16,1 Гц; с повреждением сепаратора – 1,2 Гц.

Спектральный анализ полученных в ходе эксперимента данных о параметрах вибрации указывает на квазиполигармонический состав вибрационного сигнала с широкоспосными составляющими ударных процессов. В спектре присутствуют составляющие на частотах: 6 Гц, 40 Гц, 50 Гц, 75 Гц, 86 Гц, 97...100 Гц, 120...123 Гц, 177...200 Гц, 256 Гц, 300...315 Гц, 400...444 Гц, 525 Гц, 1395 Гц, 1985 Гц, 2339 Гц, 2870 Гц, 3262 Гц, 4024 Гц. Сигнал модулируется частотами: 5...6 Гц, 24...27 Гц, 82 Гц.

Некоторые результаты измерений приведены в табл.1. В табл.1 приведены диапазоны измерений, среднеквадратичные значения (СКЗ) соответствующих параметров и пиковые значения виброускорения, зафиксированные в ходе эксперимента.

Таблица 1 – Результаты измерения параметров вибрации внешнего подшипника ходового колеса

№ п/п	Вибро-перемещение, СКЗ, мкм	Вибро-скорость, СКЗ, мм/с	Вибро-ускорение, СКЗ, м/с <sup>2</sup>	Вибро-ускорение, пик, м/с <sup>2</sup>	Частотный диапазон, Гц
1	5,7	0,10	0,004	–	2...400
2	5,7	0,10	0,004	–	2...400
3	78,0	1,30	0,070	0,3	2...400
4	263,0	43,40	0,800	–	2...1000
5	477,0	75,70	1,200	–	2...1000
6	603,0	44,70	1,800	2,1	10...1000
7	12,0	0,90	0,100	–	10...1000
8	14,0	1,30	0,200	–	10...2000
9	6,0	0,46	0,390	4,1	10...4000
10	10,0	1,00	0,400	–	10...4000
11	35,0	2,40	0,300	–	10...4000

Из данных таблицы видно, что:

1. Общий уровень вибрационных параметров (за исключением случаев 4 – 6 по виброскорости и виброперемещению) не высок. Так, СКЗ виброскорости в большинстве наблюдений остаются в пределах, соответствующих хорошему техническому состоянию для разливочных кранов – менее 2,8 мм/с [5]. Случаи 4 – 6, попадающие в диапазон значений свыше 18 мм/с, соответствующий неудовлетворительному техническому состоянию [5], связаны, по всей видимости, с недостаточно надёжным креплением датчика (при помощи магнита) что приводит к скачкам показаний при прохождении стыков подкрановых рельсов. Для последующих экспериментов необходимо предусмотреть более надёжное крепление датчика при помощи шпильки.

2. В низкочастотной области спектра, к которой относятся информативные частоты подшипников, примененных в узлах ходовых колес, все фиксировавшиеся параметры имеют существенный разброс значений – отношение наибольшего значения СКЗ параметров к наименьшему составляет десять и более раз.

3. В диапазоне измерений от 10 до 4000 Гц СКЗ виброускорения достаточно стабильны – отношение наибольшего значения СКЗ к наименьшему составляет ~ 1,3 при пиковом значении, превышающем СКЗ примерно в 10 ... 13 раз. Для первого этапа дальнейших исследований целесообразно использовать указанный диапазон измерений (от 10 до 4000 Гц) с контролем виброускорения, как параметра дающего относительно стабильные показания.

Для оценки эффективности предлагаемых мероприятий по совершенствованию системы контроля технического состояния подшипников ходовых колёс необходимо проведение их в течении по меньшей мере 6 – 12 месяцев со статистическим анализом полученных результатов и последующим уточнением методики контроля и частотного диапазона контролируемых параметров.

### *Выводы*

1. Показано, что существующая система контроля технического состояния подшипников качения ходовых колёс механизмов передвижения разливочных кранов одного из металлургических предприятий не обеспечивает своевременное обнаружение повреждений.
2. На основе анализа известных методик диагностики и результатов экспериментального исследования обоснована возможность создания современной системы контроля технического состояния подшипников качения ходовых колёс разливочного крана на базе оценки параметров вибрации подшипниковых узлов.
3. Для оценки состояния подшипников качения механизма передвижения разливочного крана следует применять метод взаимной оценки. Система контроля состояния подшипников ходовых колёс разливочных кранов должна включать два разнотипных уровня контроля. Первый уровень – визуальный осмотр подшипниковых узлов машинистами и ремонтным персоналом. Дополнительно могут быть использованы ультразвуковой стетоскоп и бесконтактный пирометр с диапазоном температур 0...250<sup>0</sup>С и оптическим разрешением 20:1. Второй уровень – периодический ежемесячный контроль технического состояния по параметрам вибрации.
4. Для первого этапа дальнейших исследований целесообразно использовать диапазон измерений от 10 до 4000 Гц с контролем виброускорения, как параметра дающего относительно стабильные показания.
5. Система контроля виброускорения должна обеспечивать возможность записи, обработки и сравнения сигналов длительностью 40...60 секунд с периодом 20...50 мкс в режиме реального времени по восьми подшипникам четырех ходовых колёс одновременно.
6. Вибродатчики необходимо надёжно крепить к корпусам подшипников ходовых колёс при помощи шпилек.

### *Перечень ссылок*

1. Расчеты металлургических кранов / С.А. Казак, В.И. Котов, П.З. Петухов и др. – М.: Машиностроение, 1973. – 264 с.
2. Седуш В.Я. Снижение ресурса подшипников ходовых колёс разливочных кранов при неравномерной нагрузке / В.Я. Седуш, В.М. Кравченко, В.А. Сидоров // Захист металургійних машин від поломок: Зб. наук. праць – Маріуполь, 2008. – Вип. 10. – С. 181 – 186.
3. Диагностирование грузоподъемных машин / В.И. Сероштан, Ю.С. Огарь, А.И. Головин и др. – М.: Машиностроение, 1992. – 192 с.
4. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Д. Соловьев. – М.: Машиностроение, 1996. – 276 с.
5. Правила технической эксплуатации механического оборудования машин непрерывного литья заготовок. – М.: Металлургия, 1991. – 216 с.

Рецензент: А.А. Ищенко  
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 20.02.2009