

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНДОСКОПИИ ПРИ ОСМОТРАХ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А. Ю. ДУХОВСКИЙ (Науч.-произв. предприятие «Интрон-СЭТ», г. Донецк),
В. А. СИДОРОВ (Донецк. нац. техн. ун-т)

Рассмотрена возможность применения эндоскопии металлургических машин, позволяющая снизить время осмотра оборудования, исключить операции по разборке и сборке механизмов, продлив тем самым ресурс узлов и деталей. Рассмотрена необходимость разработки справочника поврежденных механического оборудования относительно категорий технического состояния, исходя из факторов работоспособности и уровней отклонения.

Results of an integrated approach to problems of optimization of diagnostic systems of thermal control are set forth, covering: control technology, diagnostic equipment, specialist training, work performance by service personnel (flaw detection operators), diagnostic procedures aimed at increase of safety of functioning and energy effectiveness of various industrial facilities, including potentially hazardous technical devices, buildings and constructions, electrical engineering facilities and housing and communal services.

Современные металлургические машины представляют собой комплекс механизмов, обеспечивающих технологический процесс производства металлопродукции. Остановка одного механизма часто приводит к остановке всего металлургического агрегата. Эффективная работа металлургического предприятия требует постоянного поддержания высокого уровня безотказности механического оборудования. Достигается это путем проведения своевременного технического обслуживания и ремонта оборудования. Получение информации о техническом состоянии и определение объема ремонтных работ для восстановления работоспособного состояния механического оборудования на металлургических предприятиях проводится во время осмотра оборудования [1–3].

Осмотр осуществляется в динамическом и статическом режиме после неполной разборки при ревизии механизмов. Практически все руководства по эксплуатации механического оборудования в обязательном порядке содержат требования к проведению визуального осмотра, основанием для которого может стать результат технического диагностирования. В этом случае визуальное обнаружение дефекта подтверждает поставленный диагноз и служит неоспоримым доводом для оценки технического состояния механизма. Возможности эндоскопии металлургических машин позволяют снизить время осмотра оборудования, исключить операции по разборке и сборке механизмов, продлив тем самым ресурс узлов и деталей [4].

Перед исследованием механического оборудования металлургических предприятий методами эндоскопии, включая формирование рациональ-

ных подходов и приемов при оценке технического состояния машин и механизмов, необходимо:

- провести обзор конструкций металлургических машин, определив возможность визуального и эндоскопического осмотра;
- определить требования к эндоскопическому оборудованию;
- формировать справочник визуальных признаков технического состояния деталей механизмов.

Анализ отказов механизмов и накопленный опыт позволит определить рациональную периодичность осмотров механического оборудования.

Обзор конструкций металлургических машин. Технические характеристики и назначение металлургических машин весьма разнообразны. Например, мощность привода ролика рольганга мелкосортного прокатного стана 150 составляет порядка 1 кВт, что позволяет перемещать заготовку массой 2 т со скоростью до 1,5 м/с; мощность привода чистового блока этого же стана 150 составляет 2×2500 кВт, что обеспечивает скорость прокатываемой заготовки на уровне 80...120 м/с. Частота вращения прокатных валков чистового блока достигает 15000 об/мин, а механизм поворота свода электродуговой печи выполняет поворот на 90° за 20 с. Значительно отличаются массы (от нескольких килограмм до десятков тонн) и габариты (от 100 мм до 10 и более метров, диаметры валов — 10...800 мм) деталей металлургических машин. Такое многообразие типоразмеров и характеристик не характерно для других отраслей промышленности.

Разнообразие конструкций металлургических машин вызвано требованиями технологического процесса и необходимостью разделения операций. Оно основано на нескольких типовых конструк-



торских решениях, основным из которых является двухпорный вал с консольным или межпорным расположением исполнительного органа. Расположение валов может быть горизонтальным, вертикальным, реже наклонным. Главное преимущество данной схемы — статическая определенность, что обеспечивает стабильность работы оборудования при переменных силовых и температурных воздействиях. При использовании гидромеханического привода применяются рычажные системы для реализации поступательного или вращательного движения. Типичным примером является привод клапанов загрузочных устройств доменных печей, механизм перемещения электродов электродуговой печи, механизмы вертикального и горизонтального перемещения нагревательных печей с шагающими балками прокатных станов. Использование гидромеханического привода в настоящее время находит все более широкое применение в доменном, сталеплавильном и прокатном производствах.

Наибольшие трудности при осмотре возникают при ревизии шестеренных клетей прокатных станов и комбинированных редукторов приводов прокатных клетей мелко- и среднесортных непрерывных прокатных станов. Характеристики данного оборудования использованы для анализа возможности обследования металлургических машин с помощью визуального и эндоскопического осмотра как наиболее сложных механизмов.

Основными элементами, определяющими техническое состояние механизмов, является состояние подшипников качения, зубчатых передач и валов. При проведении предварительного анализа конструкций данных механизмов выявлены следующие особенности, затрудняющие визуальный осмотр:

– необходимость проведения осмотра в нескольких направлениях: для подшипников качения (наиболее часто используемых двухрядных роликоподшипников) необходим осмотр роликов, сепаратора и беговых дорожек по каждому ряду ро-

ликов, для зубчатых передач необходим осмотр как рабочей, так и нерабочей стороны зуба (при неререверсивном приводе) или двух сторон зуба (при реверсивном приводе);

– непригодность оборудования для проведения визуального осмотра — в лучшем случае на корпусе механизма расположены несколько лючков для осмотра. Для осмотра внешней стороны подшипников необходимо снимать торцевые крышки, а осмотр внутренней стороны подшипников затруднен из-за конфигурации зубчатых колес;

– расстояние от смотрового лючка до точки осмотра может составлять 1,0...1,5 м при отсутствии прямой видимости осматриваемого объекта;

– необходимость получения общего вида осматриваемого элемента и детального вида обнаруженного повреждения;

– отсутствие приспособлений для медленного проворачивания деталей механизма для всестороннего осмотра.

Требования к эндоскопическому оборудованию. Для визуального осмотра с использованием эндоскопического оборудования пригодны только механизмы, смазываемые жидкими маслами: шестеренные клетки, комбинированные редукторы привода прокатных клетей, редукторы скиповых подъемников доменных печей, редукторы механизмов металлургических кранов, редукторы ножиц горячей резки, внутренние поверхности гидроцилиндров. Применение пластичных смазок практически исключает возможность визуального осмотра элементов, в частности, крупногабаритных поворотных колец механизмов поворота свода электродуговых печей.

Известны три основных вида эндоскопических приборов (рис. 1): бороскопы, фиброскопы и видеоскопы. Бороскопы имеют жесткую рабочую часть и используются при возможности прямого доступа к осматриваемому объекту. Высокое качество изображения в бороскопе обеспечивается

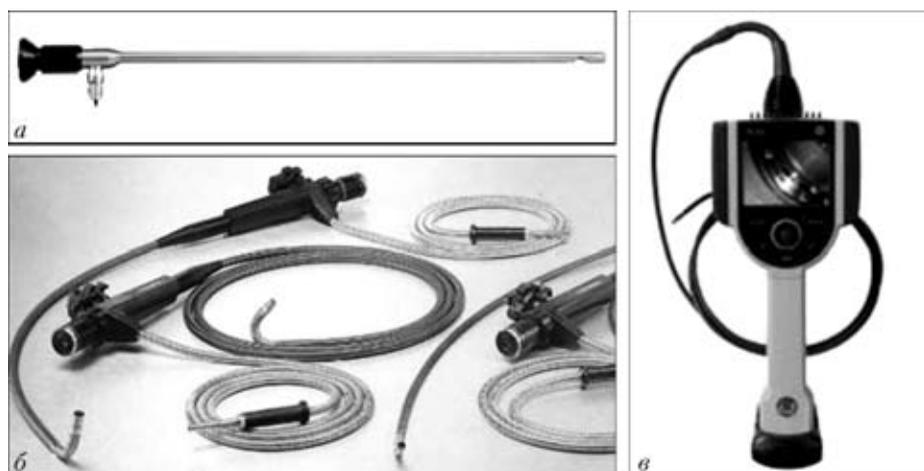


Рис. 1. Промышленные эндоскопы: а — бороскоп; б — фиброскоп; в — видеоскоп

Матрица работоспособности механизма

Уровни (категории) состояния	Факторы работоспособности				
	Состояние неподвижных соединений	Состояние узлов трения	Равномерность распределения сил	Взаимное расположение деталей	Накопление усталостных повреждений
Исправное состояние (хорошее состояние)	Неподвижность сопрягаемых поверхностей	Жидкостное трение	Равномерное распределение нагрузки между резьбовыми соединениями	Пятно контакта соответствует требованиям	Отсутствие трещин
Малые отклонения (удовлетворительное состояние)	Малые перемещения сопрягаемых деталей	Граничное трение	-	Изменение положения пятна контакта (смещение от делительной окружности)	Зарождение трещин
Необходимость проведения ремонтных воздействий (плохое состояние)	Смещения сопрягаемых деталей относительно друг друга — проворачивание	Сухое трение	-	Уменьшение площади пятна контакта до 30 % нормативных значений	Развитие фарфоровидной зоны усталостной трещины
Предотказное (аварийное состояние)	Возникновение ударов при раскрытии и закрытии зазора	Схватывание поверхностей (образование адгезионных связей)	Нагрузка воспринимается одним элементом	Снижение размеров пятна контакта до 10...20 % нормативного значения	Развитие зоны ускоренного разрушения усталостной трещины

оптической системой из твердотельных линз. Подсветка рабочей зоны обеспечивается от внешнего источника света через съемный световод. Простота и удобство в работе при высоком качестве изображения являются основными преимуществами приборов данного типа.

Фиброскопы — эндоскопы с гибкой рабочей частью, применяются для осмотра труднодоступных зон, для доступа к которым необходимо пройти несколько изгибов. Данные эндоскопы используют передачу изображения с объектива в окуляр по стекловолоконному жгуту с регулярной укладкой волокон. Дополнительные жгуты с нерегулярной укладкой волокон, также проходящие внутри рабочей части, используются для передачи подсветки в зону осмотра от наружного источника света. Возможность управления изгибом головной части существенно упрощает прохождение обследуемых полостей. Фиброскопы могут использоваться совместно с видео- или цифровой фотокамерой для документирования (записи) эндоскопических изображений.

Видеоэндоскопы в наибольшей степени отвечают требованиям визуального осмотра металлургических машин, к которым следует отнести необходимость освещения объекта; защиту объектива и удлинительной трубки от механического контактного повреждения; высокую устойчивость объектива к воздействию воды и масла; возможность изменять и фиксировать направление осмотра при использовании полужестких (гибких) зондов; автоматическую настройку контраста и фокусировки.

Основными характеристиками видеоскопов, используемых для осмотра металлургических машин, по мнению авторов, должны быть следующие:

- автономность и портативность видеосистемы;

- возможность использования сменных оптических объективов: с широким и узким полем зрения; с различной глубиной фокусировки, обеспечивающей обзор объектов с расстояния 3...5 и 100...250 мм; с прямым и боковым направлением обзора; желательное использование измерительных объективов;

- возможность использования взаимозаменяемых зондов диаметром 3...5 и 8...12 мм при общем и детальном осмотре;

- желательное дистанционное управление объективом в одной или двух плоскостях;

- использование светодиодной подсветки, обеспечивающей регулируемую освещенность объекта в пределах 1000...2000 лк;

- автоматическая или ручная экспозиция;

- длина полужесткого зонда 1,0...2,0 м;

- функция цифрового увеличения изображения до десятикратного должна обеспечиваться характеристиками видеоматрицы;

- простое управление;

- прочный корпус, защита от ударов, пыли и влаги;

- четкий цветной жидкокристаллический дисплей и передача изображения на компьютер для документирования.

Специальные требования к эндоскопическому оборудованию — возможность осмотра оборудования во время кратковременных остановок оборудования на мониторах поста управления, использование стробоскопического эффекта или стоп-кадра при анализе изображения вращающихся объектов, дистанционное изменение угла осмотра объекта.

Формирование справочника визуальных признаков технического состояния деталей ме-



анизмов. Эффективность использования визуального осмотра во многом определяется квалификацией оператора, его умением распознать характерные признаки поврежденной поверхности и провести диагностирование — установить категорию технического состояния. Определяемые в настоящее время дефекты: трещины, задиры, следы схватывания поверхности, коррозия, осповидное выкрашивание, очаги коррозии, правильность расположения деталей, забоины, прогары [5]. К сожалению, простая констатация наличия данных повреждений не позволяет установить категорию технического состояния объекта.

Так, обычно различают следующие виды повреждений [5].

Трещины — разрывы деталей, преимущественно двухмерного характера. Ограничивающие поверхности трещин часто располагаются перпендикулярно к поверхности детали. *Абразивный износ* — участки с повышенной шероховатостью вдоль направления действия абразива. *Цвета побегалости* — дефект поверхности в виде пятнистой (от желтого до синевато-серого цвета) оксидной пленки. *Пятна ржавчины* — дефект поверхности в виде пятен или полос с рыхлой структурой оксидной пленки. *Вмятины* — дефект поверхности в виде произвольно расположенных углублений различной формы, образовавшихся вследствие повреждений и ударов поверхности. *Риска* — дефект поверхности в виде канавки без выступа кромок с закругленным или плоским дном, образовавшийся от царапания поверхности металла. Могут быть тонкими и широкими.

При трении и изнашивании возникает ряд явлений и процессов, повреждающих и разрушающих поверхности деталей. *Схватывание при трении* — явление местного соединения материалов сопряженных поверхностей вследствие взаимодействия молекулярных сил. *Перенос металла* — явление, состоящее в местном соединении материалов сопряженных поверхностей, последующем его отрыве и переходе материала на другую поверхность. *Заедание* — процесс возникновения

и развития повреждений поверхностей трения вследствие схватывания и переноса материала. *Задыр* — повреждение поверхности в виде широких и глубоких борозд в направлении скольжения. *Царапание* — образование углублений на поверхности трения в направлении скольжения при воздействии выступов твердого тела или твердых частиц с рабочей поверхностью детали. *Отслаивание* — отделение с поверхности трения материала в форме чешуек. *Выкрашивание* — отделение с поверхности трения материала, приводящее к образованию углублений на поверхности трения.

Наиболее сложным является не только распознавание характера повреждения, но и построение логических причинно-следственных цепочек появления зарегистрированных видов повреждений и связи обнаруженных повреждений с фактическим состоянием механизма. Для решения данной задачи предлагается оценить влияние внутренних параметров для соответствующих категорий технического состояния, исходя из факторов работоспособности и уровня отклонения (таблица).

Визуальное проявление категорий технического состояния имеет характерные особенности [6, 7]. При неподвижной посадке наружного кольца подшипника поверхность матовая (рис. 2).

При перемещении контактирующих поверхностей под воздействием переменных сил или вибраций возникает фреттинг-коррозия, которая проявляется в виде интенсивного окисления поверхностей, темных пятен на посадочных поверхностях колец подшипников (рис. 3). Фреттинг-коррозия приводит к стуку, ударам при работе подшипника, а при дальнейшем развитии может служить причиной зарождения усталостных трещин.

Ослабление посадки подшипника часто приводит к проворачиванию подшипника на валу и в корпусе (рис. 4). Проворот подшипника сопровождается увеличением температуры узла, изменением характера шума и вибрации и приводит к недопустимому износу корпусных деталей.

Трещины поперек беговых дорожек — результат воздействия динамических нагрузок, ударов



Рис. 2. Матовая поверхность внутреннего кольца подшипника при неподвижной посадке на вал

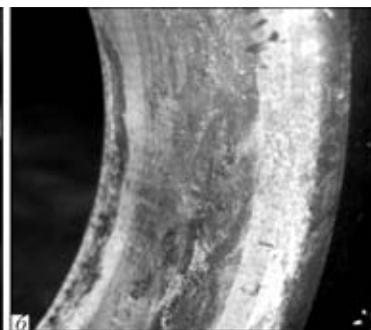


Рис. 3. Следы фреттинг-коррозии на посадочной поверхности наружного (а) и внутреннего (б) колец шарикоподшипника

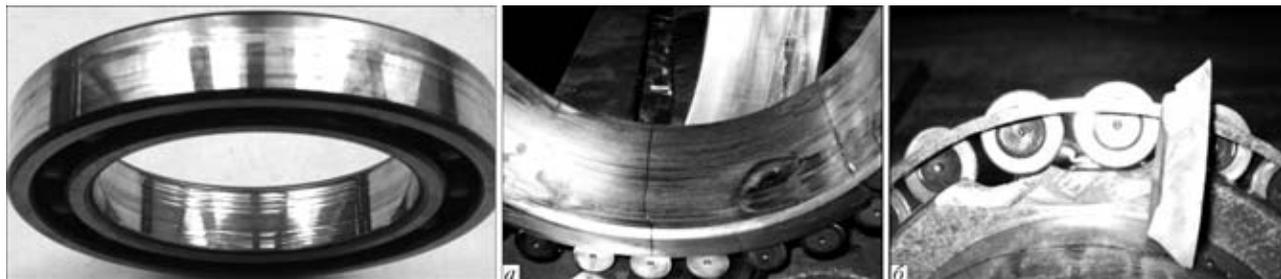


Рис. 4. Следы проворачивания колец подшипника вследствие ослабления его посадки

Рис. 5. Поперечная трещина на кольце подшипника (а) и сколы бортов кольца (б) при воздействии ударной нагрузки

(рис. 5, а). Сколы бортов колец — результат динамических воздействий осевой силы (рис. 5, б).

Выводы

Применение эндоскопии позволяет уменьшить время осмотра оборудования, исключить операции по разборке и сборке механизмов, продлив тем самым ресурс узлов и деталей металлургических машин.

В настоящее время отсутствуют единые требования к конструированию механического оборудования, предусматривающие возможность проведения эффективного эндоскопирования.

Назревает необходимость разработки справочника повреждений деталей и узлов механического оборудования относительно категорий технического состояния, исходя из факторов работоспособности и уровней отклонения.

1. *Правила* технической эксплуатации механического оборудования блюмингов и непрерывно-заготовочных станков. — М.: Металлургия, 1979. — 192 с.
2. *Правила* технической эксплуатации механического оборудования доменных цехов. ВНИИОЧЕРМЕТ. — М.: Металлургия, 1968. — 212 с.
3. *Правила* технической эксплуатации механического оборудования конвертерных цехов металлургических предприятий. ВНИИМЕХЧЕРМЕТ. — М.: Металлургия, 1984. — 79 с.
4. *Кравченко В. М., Сидоров В. А., Седуш В. Я.* Техническое диагностирование механического оборудования / Учебник. — Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2009. — 459 с.
5. *Визуальный и измерительный контроль* / В. В. Ключев, Ф. Р. Соснин, В. Ф. Мужижкий и др. / Под ред. В. В. Ключева. — М.: РОНКТД, 1998.
6. *Сидоров В. А.* Классификация повреждений подшипников // Оборудование и инструмент для профессионалов. Сер. Металлообработка. — 2009. — 113, № 3. — С. 76–79; 2009. — 115, № 4. — С. 70–73.
7. *Сидоров В. А.* Повреждения зубчатых передач: классификация // Там же. — 2010. — 125, № 3. — С. 28–34.

Поступила в редакцию
23.02.2011

Девятнадцатая ежегодная международная конференция и выставка

«Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики»

3–7 октября 2011, Ялта

Организаторы

УИЦ «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ», Украинское общество НК и ТД, Российское общество НК и ТД, Белорусская ассоциация НК и ТД, Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Днепропетровский нац. ун-т, НПП «Машиностроение»

Тематика конференции и выставки

• Общие вопросы неразрушающего контроля (НК) и технической диагностики (ТД) • Теоретические вопросы взаимодействия физических полей с веществом контролируемых объектов • ТД и мониторинг состояния производственных объектов • Контроль напряженного состояния конструкций, изделий и сварных соединений • Опыт и перспективы НК на предприятиях горно-металлургического комплекса • НК и ТД в нефтегазовой отрасли и энергетике • Контроль и диагностика строительных конструкций • Вибрационные методы диагностики • Вопросы обучения, аттестации и сертификации специалистов, подразделений НК и ТД • Разработка и гармонизация стандартов в области НК и ТД • Метрологическое обеспечение средств НК • Состояние и развитие НК и ТД в Украине • Заседание Правления УО НКТД

В работе выставки предполагается участие представителей фирм: НПП «Машиностроение», НПП «Ультракон», НПФ «Диагностические приборы», НПП «ИНТРОН-СЭТ», НПФ «Ультракон-сервис», МЧТПП «Онико», Фирмы «GE Inspection Technologies», SEIFERT, «Krautkramer», «Интек», НПП «КонТест», ППЦ «Диагностика и контроль», «Кром», «Шерл», «Сперанца-Украина», ЗАО НИИ МНПО «Спектр», ЗАО «Константа», Микроакустика, Панатест (Россия), АО «VOTUM»-АО «Интроскоп» (Молдова) и др.

Информационная поддержка

Журналы: «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», «Сварщик», «В мире неразрушающего контроля», сборник ВАК Украины «Системные технологии», бюллетень УО НКТД «НК-Информ», Сайт УО НКТД: www.usndt.com.ua, сайт НПП «Машиностроение»: www.ndt.in.ua

Оргкомитет

02094, г. Киев, ул. Минина, 3, к. 47
тел./факс: (+38 044) 5733040
e-mail: office@conference.kiev.ua,
www.conference.kiev.ua