

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СМАЗЫВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ РЕДУКТОРОВ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

В чистовой группе непрерывных сортовых станов использование комбинированных клеток (рис. 1) с вертикальными и горизонтальными валками позволяет обеспечить выпуск широкого сортамента продукции и быстро осуществлять перестройку режимов прокатки. Главная линия комбинированной клетки включает: прокатную клетку; комбинированный с шестерённой клетью коническо-цилиндрический редуктор, оснащённый механизмом переключения; приводной электродвигатель. Мощность привода прокатной клетки 880 кВт, частота вращения входного вала – 300...1000 об/мин, выходных валов 10...1000 об/мин.



Рис. 1. Общий вид участка комбинированных клеток среднесортного стана 390

Смазка основных узлов трения комбинированных редукторов осуществляется при помощи циркуляционной системы жидкой смазки (рис. 2). Смазка подшипников качения осуществляется при помощи форсунок и разбрызгиванием. Смазка зубчатых передач осуществляется при помощи разбрызгивателей, оснащённых плоскоструйными форсунками. Основные параметры подаваемого масла: расход - 68 л/мин; температура - 40⁰С, давление - 1,2...1,6 бар. Для каждой точки смазывания установлено необходимое количество масла. Количество масла для подшипников качения регулируется при помощи дросселей.

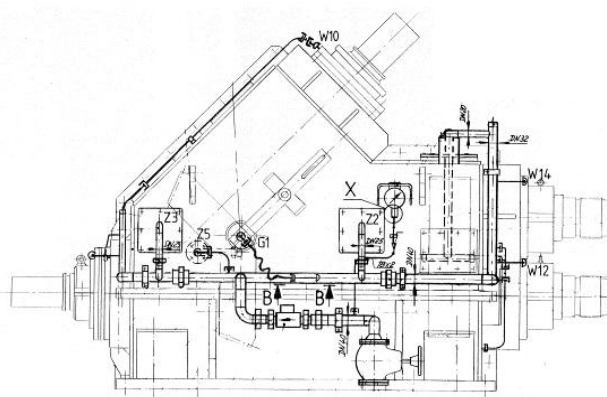


Рис. 2. Элемент схемы смазки комбинированного редуктора

Приведенные технические характеристики системы смазки комбинированного редуктора соответствуют современным требованиям, приведенным в работах [1-5], и позволяют осуществлять регулировку режима смазывания в широком диапазоне. Эти возможности наиболее эффективно могут быть реализованы для машин, работающих при стационарных нагрузках. Изменение прокатываемого профиля проката на среднесортном стане приводит к изменению действующих сил и, как следствие, к нарушению режима смазывания. Эти отклонения накапливаются постепенно и проявляются внезапно.

Например, недостаточное количество смазочного материала, подаваемого для смазки переключающего устройства, послужило причиной износа пальцев (рис. 3а). Постепенный износ пальцев переключающего устройства привёл к неполному соединению и износу соединительной муфты (рис. 3б) и шлицевого венца (рис. 3в). Дополнительный зазор в соединении валов послужил причиной износа подшипников качения (рис. 4а) и возникновения вибрации. Состояние рабочей поверхности зубьев осталось удовлетворительным (рис. 4б).

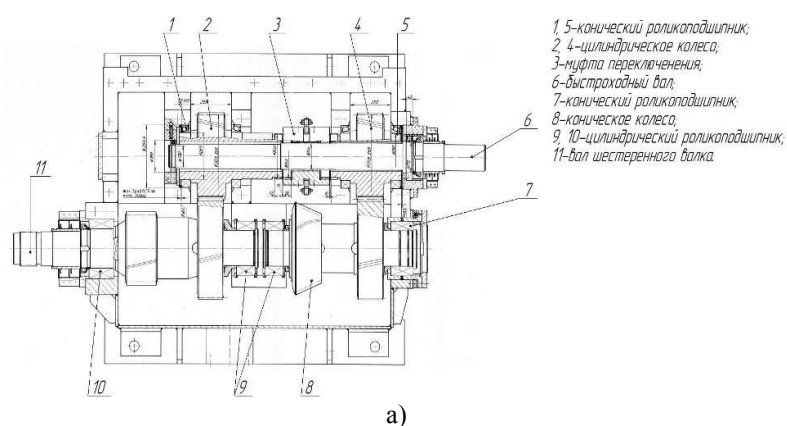


Рис. 3. Быстроходный вал и переключающее устройство (а), износ соединительной муфты (б) и шлицевого венца (в)

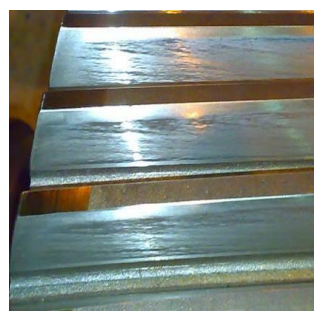


Рис. 4. Осповидное выкрашивание на кольце подшипника быстроходного вала (а), рабочая поверхность зубьев (б)

При воздействии переменных нагрузок в системе смазывания необходимо предусмотреть функции регулирования, что позволит повысить эффективность смазки. В работе рассматриваются возможность, необходимость и варианты практической реализации регуляторов смазки для применения в комбинированных редукторах прокатных станов.

Комбинированный редуктор - сложная механическая система, состояние которой определяется динамическим взаимодействием элементов, внешних и внутренних факторов. Внешние факторы определяются частотой вращения и моментом прокатки. Внутренние факторы, среди которых в первую очередь следует выделить смазку, противодействуют внешним нагрузкам. Наряду с выполнением основных функций (уменьшением трения, отводом тепла и частиц изношенного материала из зоны контакта, защитой от коррозии [6]), смазка играет роль демпфирующего элемента. Равновесие внутренних и внешних факторов определяет длительный срок службы механической системы. Малейшие отклонения в данном равновесии приводят к отказу и остановке технологического процесса.

Прекращение подачи смазочного материала к узлам комбинированного редуктора привода вертикальных валков (рис. 5) прокатной клетки сортового стана привело к внеплановой остановке стана. По результатам анализа токовых характеристик и графиков частоты вращения в развитии повреждения отмечены два периода: период устойчивой часовой работы (рис. 5а) и период развития повреждения (рис. 5б). Реализация первого периода стала возможной из-за наличия масляной пленки на поверхности контактирующих деталей. Развитие повреждения происходило быстро, в течение 3-х минут, и привело к разрушению зубьев конической передачи из-за смещения валов при износе подшипников.

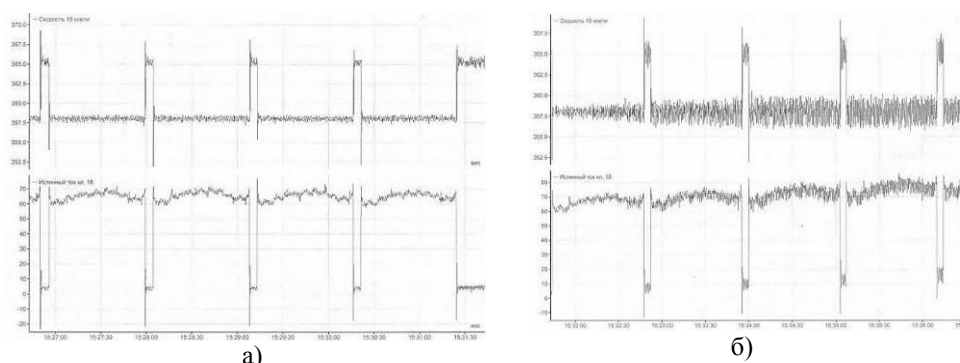


Рис. 5. Изменение токовых параметров и частоты вращения двигателя привода прокатной клетки: а) при номинальном режиме; б) при развитии повреждения.

Плавное изменение параметров системы (отработка существующей на контактирующих поверхностях масляной пленки) приводит к скачкообразному изменению физических процессов в зоне контакта. В данном случае - переход от граничного трения к сухому трению. Наличие режима холостого хода связано с 5-ти секундными паузами между прокаткой слитков. Последовательное увеличение тока холостого хода, вначале в 1,3 раза, а затем в 2,0 раза, стало первым признаком повреждения.

При разработке системы регулирования смазки комбинированных редукторов прокатных станов необходимо решить ряд вопросов.

1. Выбор объекта регулирования.

Особенности технологического процесса прокатки, выполняемого в черновой, промежуточной и чистовой группах клетей – различны. Исходные размеры прокатаваемого слитка неизменны и традиционно составляют 125×125 мм или 150×150 мм. Это определяет стабильность режимов обжатий и частот вращения про клетям черновой группы и отсутствие необходимости регулирования режимов смазывания по клетям черновой группы. Стабильность выпускаемого сортамента позволяет эффективно проводить смазку узлов на неизменных режимах.

Система регулирования смазки наиболее эффективно может использоваться в механизмах, работающих при переменных нагрузках, частотах вращения. Этому условию в наибольшей степени соответствуют чистовые клети среднесортных прокатных станов, ориентированные на выпуск широкого сортамента продукции. Решающим фактором может стать объём выполняемых заказов. Относительно малые объёмы заказов, требующие для выполнения нескольких суток, служат наиболее веским обоснованием к внедрению системы регулирования.

Как объект регулирования могут быть выбраны: система смазывания прокатных клетей в целом; система смазывания редуктора привода прокатной клети; смазка отдельных узлов механизма. Относительно выбранного объекта регулирования определяются решаемые задачи.

Основная задача регулирования для системы смазывания прокатных клетей в целом - стабилизация технических характеристик смазочного материала, компенсации последствий старения и окисления, очистка от механических примесей, уменьшение количества воды в масле до необходимых значений. Эти задачи успешно решаются с использованием традиционных и современных технологий фильтрации, очистки, нагрева или охлаждения смазочного материала, включая контроль наличия механических загрязнений и качества смазочного материала.

Для редуктора привода задачи регулирования определяются как обеспечение стабильного коэффициента трения (толщины масляной плёнки) при изменении частоты вращения и действующих сил, контроль состояния и защита узлов трения от перехода в режим сухого трения.

Смазка отдельных узлов трения выполняет задачу равномерной подачи смазочного материала и регулировки расхода в ручном или автоматическом режиме. Эти задачи решаются при разработке конструкции, предусматривая очистку форсунок от загрязнений, приводящих к снижению подачи смазки к узлу трения.

2. Изменение вязкости смазочного материала.

При изменении прокатываемого сортамента меняются силы и контактные давления взаимодействующих деталей, меняя толщину масляной плёнки. Это приводит к изменению коэффициента трения f (рис. 6) [3, рис.7.2, стр. 101] в зависимости от безразмерного параметра Герси ($\eta \cdot \omega / p$), где η – динамическая вязкость смазочного материала, Па·с; ω – частота вращения, с⁻¹; p – контактные напряжения, Па. Следовательно, при изменении относительной скорости движения поверхностей и давлений на контактирующих поверхностях обеспечить неизменную толщину масляной плёнки возможно путём изменения вязкости смазочного материала.

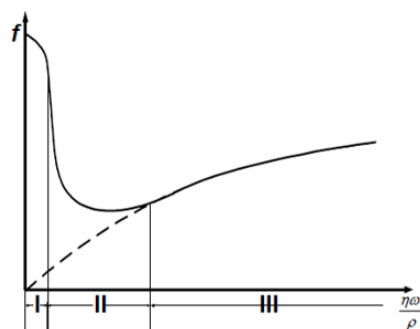


Рис. 6. Зависимость коэффициента трения от параметра Герси:
 I – зона сухого и граничного трения; II – зона смешанного трения;
 III – зона жидкостного трения.

Задача изменения вязкости смазочного материала обычно решается изменением температуры смазочного материала. Например, в винтовых компрессорных агрегатах, где масляная система охлаждается маслоохладителем, температура масла ре-

гулируется с помощью терморегулирующего трехходового клапана (рис. 7). Принцип действия клапана основан на регулировании положения затвора 2 термоэлементом 1, что обеспечивает смешивание холодного и теплого масла и доведение температуры смазки до заданного значения.

Задача, решаемая в винтовых компрессорах – стабилизация вязкости смазочного материала, оптимальной относительно действующих нагрузок. Следовательно, может решаться задача изменения вязкости смазочного материала в зависимости от действующих сил. Зависимости изменения вязкости смазочного материала от температуры известны [1], что позволяет использовать их в системе управления.

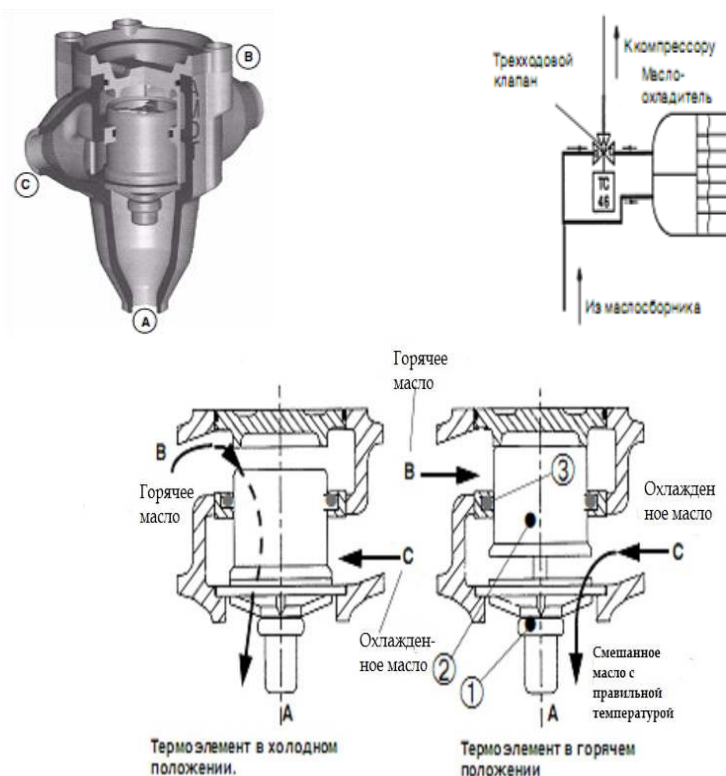


Рис. 7. Терморегулирующий трехходовый клапан:

A - выходное отверстие; B - входное отверстие; C - входное отверстие;
1 - термоэлемент; 2 - затвор; 3 - тефлоновое кольцо.

Накладываемые ограничения: поддержание температуры смазочного материала в заданном диапазоне - для стабилизации зазоров при работе механизма.

3. Изменение расхода смазочного материала.

При изменении режима работы меняется количество тепла, выделяемого в подшипнике, что ориентировочно рассчитывается по формуле [2]:

$$Q = P \cdot R \cdot \mu \cdot \omega,$$

где P – значение действующих сил; R – средний радиус подшипника; μ – коэффициент трения; ω – угловая скорость вала.

Расход смазочного материала (при работе циркуляционной системы смазки) обеспечивает дополнительный отвод тепла. Повышенный расход снижает теплоёмкость смазки и служит дополнительным источником тепла. Это приводит к повышенной степени окисления смазочного материала и снижению срока его службы. Рациональной температурой подаваемого смазочного материала, в данном случае, является

диапазон + 30...40⁰С. Температура смазочного материала на выходе из редуктора в сливном трубопроводе не должна быть более на 5...8⁰С.

Изменение расхода возможно периодически или постоянно при использовании регулируемых дросселей. Варианты настройки: автоматически или в соответствии с выбранным режимом работы. При этом необходима информация о качестве смазывания узлов трения, что обеспечивается датчиками состояния.

4. Выбор датчиков состояния.

Оценка состояния качества смазывания требует наличия в системе регулирования датчиков. В настоящее время известны решения:

- использование теплового сканирования для локализации мест перегрева;
- определение разницы температуры смазочного материала на выходе и входе для оценки средней интенсивности процессов образования тепла в редукторе;
- измерение омического сопротивления или емкостных параметров масляной плёнки, снижение толщины слоя или несущей способности масляной пленки приводят к возникновению граничного трения и появлению металлического контакта между валом и корпусом; этот признак используется для оценки качества смазывания путем измерения сопротивления в цепи «вал - корпус»;
- установка датчиков, встроенных в элементы оборудования, в частности, подшипники качения [7];
- оценка вибрационных параметров и ударных импульсов при помощи датчиков стационарной системы диагностирования.

Это наиболее сложный и важный вопрос, так как именно наличие информации о состоянии смазки узлов трения позволяет оптимально решать вопросы управления техническим состоянием редуктора. Смазка выступает как основной элемент воздействия на техническое состояние механической системы.

5. Введение дополнительных присадок может быть использовано на начальном этапе заедания для исключения аварийного повреждения деталей. Могут быть использованы: традиционные противозадирные присадки, сухие смазки, геомодификаторы поверхности и другие.

6. Подача смазочного материала.

Для отдельных узлов в первую очередь решается задача подачи смазочного материала на уровне конструкции. Смазывание зубчатых передач наиболее эффективно при помощи разбрызгивателей, оснащённых плоскоструйными форсунками. При смазывании подшипников качения используются форсунки, направляющие поток смазочного материала. В процессе эксплуатации необходима периодическая настройка и контроль за качеством смазывания. В эти вопросы включаются: возможность регулировки зоны разбрызгивания смазочного материала; очистка форсунок; настройка подачи разбрызгивателей – для согласования скорости смазочного материала и линейной скорости зубчатых колёс. При смазывании подшипников качения необходимо предусмотреть наличие масляных ванн и оптимальный отвод смазочного материала.

7. Разработка алгоритма управления осуществляется на основании поставленных задач, включая сравнение текущих и заданных значений параметров и выдачу регулирующего воздействия в соответствии с установленными закономерностями. Следует отметить возможность решения диагностических задач и выполнения функций защиты механизма от внештатных режимов работы.

8. Разработка общей структуры регулятора проводится на основании существующей системы смазывания и включает в общем случае: датчики состояния, блок регулятора и исполнительный элемент. В настоящее время с наименьшими затратами регуляторы смазки могут быть разработаны для систем смазки «масло-воздух» [8], используемых для смазки металлургических машин.

ВЫВОДЫ.

1. Возникающие при работе механизмов переменные нагрузки и частоты вращения служат основанием для регулирования режима смазки узлов трения.
2. Проведенный анализ компонентов регуляторов показывает возможность их

практической реализации в рамках существующих систем смазывания комбинированных редукторах прокатных станков.

3. Использование регуляторов смазки позволит осуществлять контроль состояния узла трения в режиме эксплуатации, что повысит безотказность.

4. Внедрение рассмотренных предложений позволит повысить стабильность работы комплекса механизмов прокатных станков за счёт обеспечения безотказной работы и повышения долговечности узлов трения.

Перечень ссылок:

1. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника (пособие для конструктора): Учебник для вузов / *Д.Н. Гаркунов.* – М.: Машиностроение, 1999. – 336 с.

2. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / *А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.М. Браун* и др.; Под общ. ред. *А.В. Чичинадзе.* – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

3. *Жиркин Ю.В.* Надёжность, эксплуатация и ремонт металлургических машин: Учебник. Часть 1. / *Ю.В. Жиркин* – Магнитогорск: МГТУ, 2005. 230 с.

4. *Епифанцев Ю.А.* Смазка металлургического оборудования: Учеб. Пособие / *Ю.А. Епифанцев.* СибГИУ. – Новокузнецк, 2008. – 53 с.

5. *Иоффе А.М.,* Гидравлическое, пневматическое и смазочное оборудование металлургических цехов: Учебник / *А.М. Иоффе, И.А. Мазур* - М.: ЗАО "Металлургиздат", 2009, - 960 с.

6. *Седуш В.Я.* Надёжность, ремонт и монтаж металлургических машин.: Учебник для вузов / *В.Я. Седуш.* - Донецк: Юго-Восток, 2007. - 379 с.

7. Подшипники со встроенными датчиками SKF [Официальный сайт] / URL: <http://www.skf.com>

8. *Красноженов Н.А.* Системы смазки «масло-воздух» / *Н.А. Красноженов* // Металлургические машины и оборудование. – 2007. №1(7). С. 37 – 41.

Рецензент: д.т.н., проф. Еронько С.П.

Статья поступила 30.06.2013.