

## МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ХОДОВОЙ ЧАСТИ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ КРАНА

О.В. Григоров, профессор, д. т. н., С.А. Губский, аспирант,  
Д.М. Коваленко, преподаватель-стажер, В.В. Стрижак, магистр,  
Национальный технический университет «ХПИ»

*Аннотация.* Предложены новые методы увеличения срока службы механизма передвижения крана.

*Ключевые слова:* ходовое колесо, срок службы, кран.

### Введение

Механизмы передвижения кранов оказывают существенное влияние на срок службы их металлоконструкции. Наиболее слабым звеном, в механизме передвижения крана, – является его ходовая часть.

Срок службы ходовых колес крана колеблется от нескольких месяцев до нескольких лет [1]. Продолжительное функционирование и экономичность крана очень зависят от правильной выставки его ходовых колес и рельсов подкрановой колеи. Очень большой износ этих конструктивных элементов вызывает непосредственное увеличение производственных затрат, затрат на техническое обслуживание крана, экономические затраты связанные с простоем крана.

Проблема перекоса ходовых колес не нова. Она насчитывает приблизительно 150 лет – с момента появления первых кранов мостового типа и является актуальной на сегодняшний день.

Одной из последних публикаций по вопросу перекоса ходовых колес есть работа Липатова А. С. [2].

Пути решения проблемы перекоса ходовых колес можно разделить на два метода: конструктивные и технологические.

*Конструктивные методы*, которые уменьшают износ пары колесо-рельс (двутавр) –

различные конструкции ходовой части механизма передвижения крана.

Сейчас наиболее распространенной (основной) конструкцией ходовой части механизма передвижения крана является конструкция с выкатными колесами, изображенная на рис. 1.

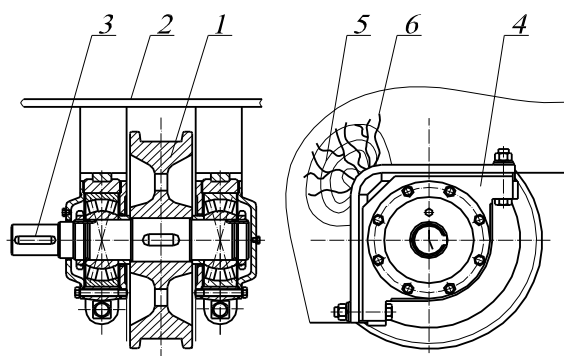


Рис. 1. Конструкция ходовой части механизма передвижения крана: 1 – ходовое колесо; 2 – концевая балка; 3 – приводной вал; 4 – букса; 5 – платики; 6 – концентрация напряжений, трещины

Эта конструкция (рис. 1) получила свое распространения благодаря очень хорошей и сравнительно легкой ремонтпригодности. Ремонт ходовой части производится: поддомкрачивается концевая балка 2, и колесо 1 вместе с буксой 4 выкатывается для ремонта. После ремонта выставка ходового колеса производится платиками 5. Но, это не обеспечивает достаточную точность установки ходового колеса и вызывает перекосы.

Незначительное увеличение угла перекоса ведёт к резкому увеличению боковых сил, которые вызывают повышенный износ реборд ходового колеса. Даже при достижении перекоса в  $0,4^\circ$  боковые силы достигают максимального значения, поэтому борьба должна вестись в диапазоне  $0 - 0,4^\circ$ , причём имеет значение каждая сотая и тысячная часть градуса.

Еще одним существенным недостатком данной конструкции (рис. 1) есть угол, который является концентратором повышенных напряжений 6. Эти напряжения вызывают появление трещин 7.

Конструкции ходовой части механизма передвижения крана, изображенные на рис. 2, 3, – дают возможность повысить точность выставки ходовых колес, и избежать концентратора напряжения.

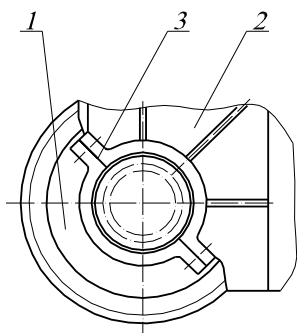


Рис. 2. Конструкции ходовой части механизма передвижения крана: 1 – ходовое колесо; 2 – концевая балка; 3 – крепление ходового колеса к концевой балки

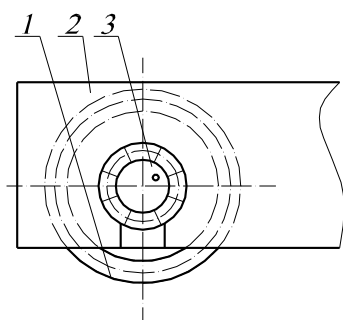


Рис. 3. Конструкции ходовой части механизма передвижения крана со встроенными во внутрь колесами: 1 – ходовое колесо; 2 – концевая балка; 3 – крепление ходового колеса к концевой балки

Конструкцию ходовой части механизма передвижения крана со встроенными во внутрь колесами (рис. 3) использует немецкая фирма Demag.

Конструкции, изображенные на рис. 2 и 3, являются более предпочтительными и перспективными по отношению к конструкции ходовой части механизма передвижения крана изображенной на рис. 1.

Технологические методы обеспечения износостойкости поверхностей деталей узлов трения подразделяют на несколько групп: химико-термическая обработка, объемная и поверхностная закалка, электрохимическая и механотермическая обработка, наплавка износостойких слоев, напыление порошковых покрытий, ионно-плазменная обработка, плакирование, механическое упрочнение и др.

### Химико-термическая обработка (ХТО)

Целью ХТО является создание на стальной поверхности тонкого легированного слоя за счет диффузии извне легирующих элементов. Поверхность может быть подвергнута закалке, тогда поверхностный слой приобретает высокую твердость (до 60 единиц по шкале Роквелла и более). К ХТО относят: цементирование, азотирование, борирование, насыщение хромом, никелем, цианирование (насыщение одновременно азотом и углеродом), борохромирование (одновременное насыщение бором и хромом), карбоборирование (одновременное насыщение углеродом и бором) и др.

Толщина упрочненного слоя может превышать 2 мм. Химико-термическая обработка получила наибольшее распространение как метод упрочнения поверхностей из-за простоты, доступности и высокой эффективности. Наиболее эффективна газовая цементация с нагревом детали токами высокой частоты.

Азотированию подвергаются стальные колеса при более низкой, чем при цементировании, температуре:  $520 - 560^\circ\text{C}$ . Легирующие элементы, входящие в состав стали (Cr, Mo, V, Al), образуют с азотом стойкие нитриды. Наибольшую твердость придает алюминий, однако поверхностный слой приобретает повышенную хрупкость, и наблюдается искажение формы изделия.

В результате азотирования колеса обретают высокую циклическую прочность и, соответственно, стойкость против усталостного из-

нашивания. Кроме износостойкости, азотирование придает деталям и высокую коррозионную стойкость.

Аналогична и технология диффузионного насыщения рабочих поверхностей деталей бором, хромом, никелем, серой в отдельности либо в различных комбинациях.

### Поверхностная закалка

Эта операция сопровождает химико-термическую обработку, а также имеет и самостоятельное значение – она применяется для образования твердого износостойкого слоя на поверхности колес из средне- и высокоуглеродных сталей и некоторых чугунов. Ей предшествует объемная термообработка: нормализация или объемная закалка и высокий отпуск. Поверхностная закалка состоит из двух операций: нагрева поверхностного слоя и быстрого его охлаждения. По способу нагрева различают следующие методы поверхностной закалки: высокочастотный, контактный, плазменный, при нагреве в электролите, лазерный. Наиболее распространенным и эффективным является высокочастотный метод нагрева. К генератору высокой частоты подключается охлаждаемая катушка из нескольких витков. Внутри катушки возникает высокочастотное электромагнитное поле, в которое помещают деталь. Вследствие явления электромагнитной индукции в детали возникают вихревые токи (токи Фуко), которые текут лишь в тонком поверхностном слое, где и выделяется вся образующаяся теплота. Поверхностный слой разогревается до температуры закалки за очень короткое время, недостаточное для того, чтобы тепло распространилось вглубь детали. Затем нагретая поверхность резко охлаждается потоком жидкости (обычно воды). В результате закаливается тонкий поверхностный слой, основа же при этом остается вязкой, что предохраняет деталь от хрупкого излома при циклическом действии нагрузки.

Поверхностная закалка с электроконтактным нагревом осуществляется путем пропускания переменного тока через контакт детали с электродом в виде катящегося по поверхности детали ролика. Применяется ток промышленной частоты низкого напряжения. Источником тока является однофазный сварочный трансформатор, из-за высокого электросопротивления в месте контакта ролика с

деталью выделяется большое количество теплоты, и зона контакта разогревается до температуры закалки. Нагретая поверхность охлаждается струей воды.

### Химическая обработка

Значительное место в технологии повышения износостойкости колес занимают оксидирование и фосфатирование. *Оксидирование* – это искусственное создание оксидной пленки. На стали формируется пористая пленка окиси железа  $Fe_3O_4$  малой толщины (до 3 мкм), имеющая малую твердость и хорошее сцепление с основой. Она хорошо удерживает смазку, предотвращает заедание и, разрушаясь, образует тонкий абразив, способствующий приработке. Пленку получают разными путями: химическим, электрохимическим, термическим и термохимическим. Часто защитные пленки толщиной до 0,3 мм получают электрохимическим путем – методом глубокого анодирования. Утолщенные пленки происходят как за счет проникновения вглубь детали, так и за счет наращивания на поверхности. Таким образом, увеличивается размер детали.

Прогрессивным способом химической обработки поверхностей обода колеса является *фосфатирование* – формирование пленки из нерастворимых фосфорнокислых солей. Пленка формируется при температуре около 100 °С в среде раствора. Толщина пленки достигает 50 мкм (при этом размеры детали меняются слабо), она прочно сцеплена с основой, жаростойка (до 600 °С), устойчива к воздействию кислот, содержащихся в смазке, имеет низкую твердость и высокую пористость. Пленка пропитывается маслом, содержащим твердосмазочные добавки, и хорошо защищает детали от задира.

Одним из эффективных способов химической обработки поверхностей является *сульфидирование*, заключающееся в обогащении поверхностных слоев стальных колес серой. Сульфидирование проводят в жидкой, твердой или газовой серосодержащих средах. Оно может быть низко-, средне- и высокотемпературным (150 – 450, 540 – 580, 850 – 950 °С соответственно). В зависимости от состава сернистой среды, температуры и длительности процесса наряду с  $FeS$ ,  $FeS_2$  образуются и другие железосерные соединения. Жидкое сульфидирование осуществляется в

соляных ваннах. Глубина сульфидированного слоя достигает 50 мкм.

Разновидностью сульфидирования является сульфоцианирование, при котором поверхность одновременно насыщается серой, азотом, углеродом при температуре 540 – 580 °С в жидкой среде. Применяется и сульфидирование в твердой среде порошка сернистого железа. Шероховатость у прошедших сульфидирование поверхностей значительно выше исходной, несколько увеличиваются размеры деталей. В процессе эксплуатации сульфидная пленка, менее прочная, чем основной металл, легко разрушается и отделяется, предотвращая схватывание. Сульфидный слой и мягкие слабоабразивные продукты износа обладают высокой адсорбционной способностью и активируют молекулы масла. Благодаря таким свойствам приработка ускоряется, и быстро устанавливается равновесная шероховатость с высоким классом, приближающимся к 9 – 10 классам. Интересно, что по мере износа металла под влиянием температуры и давления атомы серы диффундируют вглубь поверхности, повышая антифрикционные свойства. В результате насыщенный серой слой значительно превышает первоначальный по своим противоизносным свойствам. Сульфоцианирование, в дополнение к сульфидированию, не только ускоряет приработку, но и существенно повышает износостойкость за счет повышения твердости и усталостной прочности. К современным методам создания защитных пленок на поверхностях колес относится химическое воздействие газовой среды при определенных значениях температуры и давления (иногда с применением пучков ускоренных ионов). Примером такого метода является создание на поверхности прочно связанного с основой слоя дисульфида молибдена. Для этого на деталь наносится электролитическим путем слой молибдена. Затем поверхность при определенной температуре и давлении обдувают парами серы. Дисульфид молибдена, образующийся в ходе поверхностной реакции, прочно связывается с основой и образует надежное твердосмазочное покрытие. Если затем поверхность бомбардировать ускоренными ионами, то кристаллы дисульфида молибдена плоскостями наименьшего сопротивления сдвигу устанавливаются параллельно поверхности детали, и коэффициент трения по такой поверхности близок к нулю (аномально низкое трение). Другим примером такого способа создания покрытия является формирование на поверхности тонкой алмазной пленки, обладающей высочайшей износостойкостью. В этом слу-

чае специально подготовленная поверхность детали при соответствующих диаграмме фазового равновесия углерода значениях температуры и давления обдувается одним из углеродородов. На поверхности образуется тонкая (до 10 мкм) пленка углерода в виде алмаза.

### **Механотермическая обработка**

Метод заключается в том, что защитный слой кристаллизуется из расплава в стесненных условиях под нагрузкой. При этом в нем отсутствуют полости и сквозные поры, основной металл практически не подплавляется и не попадает в наплавляемый слой, который надежно соединяется с основой. Используют две технологические схемы: фрикционное и электроконтактное формование. Первая технологическая схема включает в себя прижатие с определенным усилием к поверхности детали сухарей из материала будущего покрытия. Возможен и другой вариант: с помощью пуансона прижимается брикет из гранул или стружки. Затем покрываемая поверхность с заданной скоростью приводится в циклическое движение. Наносимый материал трется о поверхность детали, на границе выделяется теплота. В какой-то момент времени температура контакта достигает точки плавления. Плавление, а следовательно, формирование износостойкого слоя происходит под давлением от 5 до 100 МПа при скорости скольжения 1 – 8 м/с. При этом время формирования слоя составляет 5 – 70 с. Таким способом создается покрытие толщиной от 0,5 до 10 мм. На стальную основу наносятся слои из медных, алюминиевых и других сплавов. При электроконтактном формировании тепло выделяется в результате прохождения электрического тока через обладающий большим сопротивлением гранулированный материал, прижимаемый с заданным давлением к поверхности детали. Этим методом на сталь наносится широкий спектр материалов: легированные стали, твердые сплавы, износостойкие композиции. Таким же образом осуществляется электроконтактная наплавка, основанная на принципе контактной сварки. Наплавляемый материал (обычно в виде ленты) прижимается к поверхности детали электродом. Между электродом и деталью разность потенциалов составляет 2 – 12 В. Можно использовать в качестве источника тока сварочный трансформатор. Если наплавляют длинномерные детали, то электрод делают в виде ролика, катящегося по ободу и осуществляющего приварку защитного покрытия.

## Наплавка износостойких слоев

Это один из наиболее распространенных способов восстановления изношенной поверхности колес крана. Разнообразные методы наплавки различаются источниками тепловой энергии, способами защиты наплавляемого металла, уровнем автоматизации. Однако все виды наплавки имеют общие металлургические и физико-химические основы. К ним относятся расплавление наносимого металла с частичным расплавлением поверхностного слоя, перемешивание расплавов, кристаллизация.

Наибольшее распространение получила электродуговая наплавка, осуществляемая ручным и полуавтоматизированным способами. При механизированной наплавке вместо отдельных электродов применяется свернутая в бухту проволока либо электродная лента. Чаще всего используется наплавка под слоем флюса. Порошковый флюс, непрерывно подаваемый в зону дуги, образует над швом шлаковую оболочку, которая из-за низкой теплопроводности уменьшает скорость охлаждения наплавленного материала, что способствует нормализации структуры, а также защищает шов от окисления, предотвращает разбрызгивание металла, доля которого в шве колеблется от 30 до 65 %, что ухудшает свойства защитного слоя и делает их в значительной мере случайными величинами. Качество покрытия заметно улучшается, когда исключается контакт наплавляемого материала с кислородом воздуха. Для этого процесс проводят в среде углекислого газа, аргона и их смесей. Интересен высокоэффективный метод наплавки порошковой проволокой, представляющей собой тонкую трубку из стали с запрессованной в ней порошковой смесью, обеспечивающей получение требуемого состава наплавляемого слоя. Применение плазменно-дугового разряда вместо обычного электродугового позволило существенно снизить вредное влияние подплавления основного материала. Здесь возможны разные варианты подачи наплавляемого материала в зону наплавки: подача проволоки, проплавление заранее уложенной, вдувание наплавляемого порошка вместе с потоком плазмы. Последний метод предпочтителен, поскольку позволяет полностью автоматизировать процесс.

## Напыление покрытий из порошковых материалов

Этот метод является одним из наиболее эффективных способов создания износостойких

слоев на поверхности катания колеса. Если в высокотемпературную струю газа подать частицы порошка или капли расплава, то при столкновении с поверхностью они деформируются и прочно прикрепляются к детали. Существуют две разновидности такой технологии: газоплазменное напыление и электрическое напыление. При газоплазменном методе тепло выделяется в результате сжигания смеси горючего газа с кислородом, при электрическом методе источником тепла является электрическая дуга. Для газоплазменного напыления в кустарных условиях производства используют обычные газовые горелки, обеспечивающие плавление и разбрызгивание материала проволоки, подаваемой в зону факела. В качестве источника высокотемпературной и скоростной струи удобно использовать плазмотрон. В этом случае напыляемый порошок подается в струю плазмы. Имеются и электродуговые устройства, в которых через зону плавления в дуговом разряде двух проволочных электродов вдувается сжатый воздух. Струя раскаленного воздуха вместе с каплями расплава направляется на поверхность детали.

Другим вариантом нагрева напыляемого материала является использование индукционных токов высокой частоты, которые возникают в проволоке, проходящей через охлаждаемый соленоид, генерирующий высокочастотное электромагнитное поле. Через катушку продувается струя воздуха, которая подхватывает капли расплавленной проволоки и ударяет их о поверхность детали.

Напыление широко применяется для восстановления формы изношенных деталей. Большую роль играет подготовка поверхности под напыление. Поверхность должна быть хорошо очищена от загрязнений, иметь шероховатость и пористость. Это гарантирует хорошее сцепление наносимого материала с основой. Поверхности обезжиривают с помощью промывки в растворителях (бензин, бензол, ацетон, четыреххлористый углерод и т.д.). Для устранения дефектов поверхностной структуры используется обработка струей абразива (пескоструивание).

В последнее время для нанесения износостойких твердосплавных покрытий используется метод детонационного напыления. Установка для детонационного напыления напоминает пулемет, стреляющий порциями разогретого порошка. В замкнутую камеру сгорания, к которой прикрепляется ствол, подается смесь кислорода и горючего газа (ацетилен, пропан-бутан и др.). Ствол направляют

на напыляемую поверхность. Через загрузочное отверстие в камеру подается порошок. Смесь поджигается электрической искрой и взрывается. Раскаленные частицы вместе с продуктами сгорания ударяются об обрабатываемую поверхность и закрепляются на ней. Температура частиц в момент удара достигает 4000 °С. Частота выстрелов – 3 – 4 в секунду. Недостатком метода является неравномерное распределение материала по поверхности, что устраняется путем отделочной обработки шлифованием. Покрытия обладают высокой твердостью и износостойкостью. Износ снижается до 10 раз.

### Механическое упрочнение поверхностей

Привлекают простота и дешевизна этого метода. Здесь используется явление значительного роста предела текучести, а следовательно, и твердости материала, при высокой степени пластической деформации – деформационное упрочнение. Метод реализуется путем обкатывания поверхностей роликами или шариками, выглаживания сферическими алмазными наконечниками, обработки струей из мелких стальных или стеклянных шариков (дробеструивание). Помимо упрочнения, поверхность выглаживается, заметно снижается высота шероховатости. Вершины выступов становятся более пологими, и контакт переходит из пластического в упругое состояние. Возможно также залечивание поверхностных дефектов (микротрещин). Все это существенно повышает усталостную износостойкость, снижает срок приработки.

Известной разновидностью методов поверхностного пластического деформирования (ППД) является технология виброупрочнения, созданная профессором Шнейдером Ю.Г. (Санкт-Петербург). В этом способе выглаживающему индентору сообщается колебательное (вибрационное) движение. При совмещении колебательного движения индентора с поступательным по обрабатываемой поверхности при малой скорости движения можно получить полностью наклепанную поверхность, а при увеличении скорости – синусоиды или их переплетение. В этом случае говорят о частично упрочненной поверхности, которая выглядит как рельеф, называемый «крокодиловая кожа».

### Вывод

Для увеличения срока службы ходовой части механизма передвижения крана необходимо применять *комплексный подход*. Использовать совместно наиболее подходящие конструктивные и технологические методы. Надо еще на стадии проектирования грузоподъемного крана выбирать наиболее оптимальные конструктивные решения и технологию обработки поверхности катания колеса. Невозможно обеспечить удовлетворяющую износостойкость системы колесо-рельс только применением одного из методов [3, 4].

### Литература

1. Григоров О.В., Петренко Н.О. Вантажопідйомні машини. – Харків: НТУ «ХП», 2006.
2. Липатов А.С. О подходе к оценке погрешности установки крановых ходовых колес. Подъемные сооружения, специальная техника. – 2002. – №12.
3. Преловский А. И., Губский С. А. Практика применения магнитного (коэрцитиметрического) неразрушающего метода контроля при технической диагностике мостовых кранов, отработавших нормативный срок. Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики. Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики. – Харьков, 2004.
4. Григоров О.В., Губский С.А. Прогнозирование остаточного ресурса металлоконструкции мостовых кранов с помощью магнитного метода неразрушающего контроля на основе коэрцитивной силы. Підвищення ефективності перевантажувальних, будівельних і колійних робіт на транспорті. – Харків: Журнал ВАК, 2006.

Рецензент: Л.В. Назаров, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 17 июня 2007 г.