

3. При скачкообразных изменениях нагрузки процесс движения промежуточного вала является аperiодическим и подчиняется экспоненциальному закону.
4. Зависимость перемещения чувствительного элемента, которым является промежуточный вал, линейна относительно момента сил полезного сопротивления.
5. Характер трения между перемещающимся в осевом направлении промежуточным валом и соприкасающимися с ним звеньями редуктора является жидкостным.
6. Данное устройство может быть использовано как демпфирующее устройство для сглаживания пиковых нагрузок в трансмиссии и исполнительных органах горных и других машин, а также как датчик момента сил полезного сопротивления, например, при измерения массы поднимаемого груза в мостовых кранах, при определении производительности ленточных конвейеров и т.д.

#### Список литературы

1. Иванов М.Н. Детали машин. – М.: Высшая школа, 1976. – 399 с.
2. Лавилов А.Г., Двойнин А.И., Дудко М.А., Ткаченко В.Е. Измерение крутящего момента посредством косозубого редуктора. – Днепропетровск, 1976. – 19 с. – Рукопись предст. Днепропетр. горн. ин-том. Деп. в ЦНИЭИуголь 22 дек. 1976 г., № 835-76 деп.
3. Хайкин С.З. Физические основы механики. – М.: Наука, 1971. – 751 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКОМОТИВНОГО ТРАНСПОРТА НА РУДНИКАХ КРИВОРОЖСКОГО БАСЕЙНА

*В.Ф. Ганкевич, Национальный горный университет, Украина*

Рассмотрено состояние рельсового пути на рудниках Криворожского бассейна, конструкции и технологии изготовления колес, системы подвески колесных пар.

Основная часть железных руд Украины (68,5 %) сосредоточена в Криворожском железорудном бассейне. Украина может добывать более 190 млн т сырой руды в год. Для обеспечения ритмичной и высокопроизводительной работы горных предприятий необходимо постоянное совершенствование всех звеньев технологической цепи, от добычи полезного ископаемого (забоя) до получения готовой продукции.

Основным видом транспорта на рудниках Криворожского бассейна является электровозная откатка.

На рудниках Украины эксплуатируется около 770 электровозов и свыше 7500 вагонов. Наименьший срок службы у электровозов и вагонеток – полускаты. Так, срок службы колес большегрузных вагонов составляет в среднем 4-6 месяцев, осей 10-14 месяцев, бандажей колес электровозов 10-16 месяцев.

На срок службы деталей и узлов локомотивного транспорта влияют состояние рельсового пути, материал для изготовления, конструкция и технология, качество монтажа, эксплуатации и своевременного ремонта, масса вагонов, скорость их движения.

Внеплановые остановки транспорта негативно влияют на производительность рудника и приводят к повышению себестоимости полезного ископаемого. В трудовых затратах, связанных с добычей руды, на долю электровозной откатки приходится до 22 %. Отсюда следует, что решение проблемы обеспечения рудничного транспорта надежными колесами является актуальной задачей.

Неритмичность работы, в основном, возникает из-за плохого состояния рельсового пути и низкого срока службы колесных пар.

При визуальном осмотре рельсовых путей выявлен целый ряд недостатков. Концы рельсов соединяются частично электросваркой, частично с помощью накладок и болтов. Тот и другой способ при соблюдении правильной технологии соединения вполне надежны, но на практике приходится наблюдать, что значительное число стыков, доходящее до 50 %, не выдерживают действующих нагрузок при эксплуатации и выходят из строя.

Технические условия стыковых соединений не соблюдаются: часть соединений осуществлено двумя болтами, вместо четырех и те иногда находятся в недостаточно затянутом состоянии, что вызывает большие зазоры между рельсами и возвышение одного рельса над другим до 30 мм. Стыки рельсов располагаются на шпалах и между ними. Шпалы в основном деревянные, не пропитаны антисептиком. Балласт не качественный, состоящий из горных пород, получаемых при проходке выработок. До 50 % рельсовых путей уложены без балласта.

Все указанные недостатки приводят к расшатыванию и неровностям рельсового пути и не позволяют развивать среднюю скорость движения электровозных составов свыше 6-7 км/час. Кроме того, при движении электровозных составов возникают большие толчки и удары в контакте пары колесо – рельс, что вызывает преждевременный выход из строя вагонов и электровозов.

Из анализа следует, что рельсовый путь имеет значительные геометрические неровности и рельсовая нитка представляет собой сложную кривую, меняющую свою кривизну, как в вертикальном, так и горизонтальном направлении. Поэтому при движении вагонов по такому профилю возникают колебания и появляются большие динамические силы.

Необходимо обеспечить постоянный контроль за состоянием рельсового пути и его содержание в надлежащем виде.

Наиболее ответственным узлом шахтных вагонеток являются скаты. Установлено, что основными причинами, вызывающими преждевременный выход скатов из строя, являются износ обода и реборды колеса, несовершенство подшипникового узла и недостаточный уровень ухода за скатами.

Для успешной эксплуатации вагонеток большое значение имеют соблюдение основных правил технической эксплуатации, конструктивное совершенство и исправность вспомогательных и маневровых механизмов, хорошее состояние путевого хозяйства.

Из-за плохого состояния рельсового пути масса груза и вагонетки распределяется между тремя точками контакта (тремя колесами). Для снижения нагрузок на колеса, а следовательно и износа обода и реборды, предложена конструкция подрессоривания вагонетки. Это обеспечит равномерное распределение нагрузки на все колеса [1].

Возможен вариант снижения износа колеса и рельса применением универсального колеса с новыми функциями поглощения динамических нагрузок (кольцевых рессор) и самоустановки относительно рельсового пути. Это позволит уменьшить влияние дефектов рельсового пути и снизить влияние некачественного монтажа, неправильной эксплуатации и ремонта [2].

Для повышения долговечности колес необходимо применение единой марки стали, технологии ее легированием и термоупрочнением, изготовления на всех заводах унифицированной конструкции [3].

Интенсивный износ колес и бандажей ведет к нарушению нормальной эксплуатации подземной электровозной откатки, увеличению расхода металла, денежных средств и снижению производительности шахтных электровозов.

Одним из методов увеличения срока службы шахтного транспорта является выбор той или иной марки стали, наиболее отвечающей конкретным условиям работы, изменение химического состава, приводящего к значительным колебаниям износа. В количественном отношении основное влияние на износ колес и бандажей оказывает содержание в них углерода, с повышением которого возрастает износостойкость, твердость и прочность стали, но заметно

понижается пластичность (увеличивается хрупкость стали). На износостойкость большое влияние оказывает также содержание марганца. Содержание марганца в стали колеблется от 0,20 до 1 %. В специальных сталях процентное содержание марганца выше 1 %.

С увеличением содержания марганца прокаливаемость стали повышается, повышается твердость, предел прочности и предел текучести, в заметной степени уменьшается вредное действие серы на сталь, но одновременно понижаются показатели пластических свойств стали – относительное сжатие, удлинение, ударная вязкость. Поэтому в стали с относительно высоким содержанием углерода допускается меньшее содержание марганца, чем в стали с более низким содержанием углерода.

Кремний, подобно марганцу, повышает чувствительность стали к закалке и увеличивает предел ее прочности. Вредными примесями стали являются сера, фосфор и растворенные газы. С увеличением серы уменьшается коррозионная стойкость, ухудшаются механические и пластические свойства стали. Наличие серы вызывает красноломкость, неоднородность слитка по структуре.

Присутствие марганца уменьшает вредное влияние серы на хрупкость (красноломкость) стали, обессеривает сталь.

Фосфор, как и сера, является постоянной примесью стали. Вредное действие фосфора проявляется, в понижении ударной вязкости и повышении хладноломкости стали.

Наилучшим раскислителем стали является алюминий, способствующий получению мелкозернистой стали (0,03-0,08 Al).

Рассмотрим влияние на износостойкость стали таких легирующих элементов как теллур, церий, бор, молибден.

Из анализа микролегирующей колесной стали теллуром видно, что при введении тысячных долей процента теллура наблюдается повышение ударной вязкости, предела прочности и износостойкости колесной стали. Теллур действует как превосходный дегазатор и десульфуратор. Наличие теллура увеличивает прокаливаемость стали. Введение теллура не эффективно для высоколегированных конструкционных сталей, так как свойства стали, при этом практически не изменялись. Введение теллура сказывается эффективно для простых по составу сталей.

Сотрудниками ИЧМ Украины было проведено исследование влияния церия на качество углеродистой стали. Было обнаружено снижение содержания серы лишь при относительно большом количестве ввода церия.

Раскисление стали ферроцерием в количестве 750 г/т вместо алюминия увеличило его ударную вязкость после закалки и отпуска 400°C в два раза.

Большой интерес для горнорудной промышленности представляют, молибденовые стали, устойчивые против коррозии, хорошо воспринимающие ударные нагрузки и обладающие большой износостойкостью. Последнее время все более широкое применение в металлургической, химической и электротехнической промышленности находит бор. Бор часто используется в качестве восстановителя в тех же случаях, что алюминий и кремний, благодаря его высокой активности и жидкотекучести образуемых ими шлаков.

Наличие бора 0,0005-0,005 % значительно повышает закаляемость стали. Потребление бора в сталь в незначительном количестве позволяет экономить такие дефицитные материалы как хром, молибден, никель, без увеличения стоимости стали.

Применяемое упрочнение деталей машин и инструмента методом электролитического борирования на Новомосковском металлургическом заводе увеличивает износостойкость в 2-3 раза, в отдельных случаях до десяти и более раз. Добавление к стали 0,1-0,4 % молибдена приводит к измельчению структуры, повышает предел прочности и предел текучести без понижения пластических свойств стали. Наличие молибдена в стали повышает ее прокаливаемость. Авторами было исследовано и проанализировано влияние процентного содержания углерода, марганца, кремния на износостойкость колес вагонов и электровозов, а также на ЛРРЗ отлиты две партии колес, и легированных теллуром, прошедших промышленное испытание на 490 горизонте шахты им. Фрунзе и обеспечивших повышение их долговечности на 40 %.

После выхода из строя бандажей в результате износа, ввиду не поставки бандажей, как запасных частей на электровозах устанавливаются литые колеса, отлитые из стали марок 45-55Л согласно ГОСТ. На Криворожском Ленинском рудоремонтном заводе среднее содержание в колесах отлитых в 1970 году было 0,465 % углерода, 0,725 % марганца и 0,27 % кремния. Отливка колес производится в стальном цехе.

Формовка колес рудничных электровозов и вагонеток производится на встряхивающих машинах с перекидным столом марки 233.

После формовки на сырой песчаной форме ставится клеймо отлитыми цифрами, обычно на реборде. Клеймо представляет индекс формовщика, т.е. его фамилию и дату отливки. В литейной книге под тем же индексом записывается химический состав данной плавки. Плавка металла производится в электродуговой печи емкостью 3000 кг. Заливка металла в земляную форму производится барабанным ковшом перемещающимся при помощи мостового крана. Температура заливаемого металла 1500-1530°C. Отливки в формах выдерживают в течении 5-6 часов, для охлаждения их температуры 400-600°C, при которой они могут быть выбиты из формы. При слишком ранней выбивке горячие отливки, подвергаются резкому охлаждению на воздухе, получают высокие внутренние напряжения от неравномерного охлаждения тонких и толстых частей отливки, что может привести к образованию трещин.

Выбивка производится на вибрационной решетке, а выбитая земля поступит на очистку от металлических примесей и на дальнейшую переработку. Освобождения отливка поступает на первичную обрубку и обрезку литников прибылей. Затем отливки подвергаются термической обработке – отжигу согласно заводских нормалей. Температура в печи фиксируется при отжиге монтированной термопарой и самопишущим прибором. За выдержкой температуры отжига следит дежурный. После отжига производят окончательную очистку колес, предъявляют для проверки представителю ОТК завода, годные детали маркируют и отправляют на промежуточный склад для механической обработки.

Основные виды брака при изготовлении колес:

- раковины газовые, шлаковые и песчаные;
- трещины горячие и холодные;
- пригар, плены и намывы, заливы;
- перекося и разностенность.

Исправимый брак исправляют в основном газовой резкой и сваркой, неисправимый брак идет на переплавку. Процент брака на ЛРРЗ составляет в среднем 5 %.

Проверка качества литья производится только поверхностная определение механических свойств сталей на заводе не производятся. Для выявления внутреннего брака необходимо иметь в литейном цехе дефектоскопы. Затем электровозные колеса поставляются, Дзержинскому рудоремонтному заводу, где подвергаются механической обработке, на прессовке виде горячей посадки, после чего по технологии предусмотрена их термообработка – закалка токами высокой частоты при помощи ватного генератора МГЗ-108 при  $f = 8000$  Гц.

Анализ поперечного сечения закаленного колеса показал неравномерность закаленного слоя поверхности катания и недостаточности ее глубины при полностью незакаленной реборде из-за несоответствия индуктора конфигурации колес. Твердость закаленного слоя 33-40 HRC.

В соответствии с техническими условиями приемки и ремонта электровозных колесных пар ТУ-001 Дзержинский рудоремонтный завод допускает предельный диаметральный износ поверхности катания 10 мм, а реборды до 13 мм, после чего производится наплавка круга катания и реборды до номинальных размеров ПК, СВ-8, реже 30ХГСА диаметром 4 мм с последующей обработкой в соответствии с рабочими чертежами.

Для обеспечения требуемой глубины закаленного слоя проводится охлаждение колес в масле, соли, в воде. Наилучшие результаты были достигнуты при закалке колес в воде. Нагрев колес производился в печи марки Н-75 до 820°C с выдержкой 1,5 часа, затем закалка в баке с водой при выдержки 4 мин. до охлаждения колес до 80°C. Глубина закаленного слоя

была до 10-12 мм, с поверхностной твердостью 440-450 НВ, на глубине 5 мм 250 НВ и 10 мм – 190 НВ.

Структура поверхностного слоя – троостит, переходящий на глубине 3-5 мм, в тростосорбитную и сорбитообразную.

Этот метод закалки не применяется из-за трудоемкости процессов и отсутствия надлежащего оборудования. Хороших результатов закалки ТВЧ можно достигнуть с помощью генератора ИГЗ-102 с рабочей частотой  $f = 2500$  ГЦ, которая обеспечит глубину закаленного слоя  $L = 10 - 12$  мм, т.к. при нагреве колес ТВЧ глубина проникновения тока  $L = 600 / \sqrt{f}$ , мм.

Подлежит изменению и конфигурация индуктора с тем, чтобы он охватывал реборду колеса, что обеспечит закалку реборды.

Для улучшения качества литья и уменьшения механической обработки на ЛРРЗ отливку электровозных колес необходимо производить с применением холодильника (полукокилей), как это делается при отливке колес вагонов.

Исправимый брак исправляют в основном газовой сваркой и резкой, неисправимый брак идет на переплавку. Процент брака на заводе ЛРРЗ составляет в среднем 5 %.

Проверка качества литья производится только поверхностная.

Для выявления внутреннего брака необходимо иметь в литейном цехе дефектоскопы.

#### Выводы

Повышение надежности локомотивного транспорта зависит от состояния рельсового пути, системы подвески скатов, конструкции колеса, марки стали, технологии изготовления, монтажа, эксплуатации и ремонта.

Задача повышения долговечности ходовой части шахтных вагонов требует комплексного подхода, включающего совершенствование подшипникового узла и технологии механической обработки посадочных отверстий под подшипники, бандажирование колеса и подрессоривание кузова вагона.

Для обеспечения нормальной работы подшипникового узла шахтного вагона следует максимально раздвинуть подшипники к торцам ступицы колеса.

Необходимо усовершенствовать технологию изготовления посадочных отверстий в ступице колеса в соответствии с требованиями, которые существуют для посадки наружных и внутренних обойм конических роликоподшипников. Для этого следует ввести дополнительную операцию – двухстороннюю алмазную расточку отверстия, что позволит получить более стабильную точность изготовления отверстия и необходимую чистоту поверхности.

Повышение износостойкости и долговечности колес шахтных вагонов достигается выбором марки стали, ее легированием и термоупрочнением, совершенствованием конструкции, технологией монтажа и соблюдением графика планово-предупредительного ремонта.

#### Список литературы

1. Коцупей А.Н. Обоснование параметров периодического взаимодействия колеса вагонетки со стыками протяженного рельсового пути / А.Н. Коцупей, А.А. Титов, В.Ф. Ганкевич // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 1. – С. 65–68.

2. Канов Г.Л. Пути снижения износа колеса и рельса / Г.Л. Канов, В.Ф. Ганкевич // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 6. – С. 52–54.

3. Ганкевич В.Ф. Методы повышения эксплуатационных характеристик колес рудничного транспорта / В.Ф. Ганкевич, А.Н. Коцупей // Науковий вісний НГУ. – 2006. – № 11. – С. 68–69.