

*д.т.н. Кравченко В.М.
(ПГТУ, г. Мариуполь, Украина),
к.т.н. Сидоров В.А.
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина),
к.т.н. Буцукин В.В.
(ПГТУ, г. Мариуполь, Украина, butsukin@mail.ru)*

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ХОДОВЫХ КОЛЕС ТЕЛЕЖЕК ГАЗОРЕЗКИ МНЛЗ

Наведені результати досліджень відмов підшипників качення ходових колес газорізних візків сортової МБЛЗ, виконан розрахунок терміну їхньої служби та аналіз можливих причин відмов підшипників, надані рекомендації щодо їх усунення.

Ключові слова: *машина безперервного лиття заготовки, ходові колеса газорізних візків, підшипники качення, термін служби, аналіз причин відмов.*

Приведены результаты исследования отказов подшипников качения ходовых колес тележек газорезки сортовой МНЛЗ, дана расчетная оценка срока их службы, проанализированы возможные причины отказов, разработаны рекомендации по их устранению.

Ключевые слова: *машина непрерывного литья заготовки, ходовые колеса газорезательных тележек, срок службы, анализ причин отказов.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Переход к получению непрерывнолитой заготовки является одной из основных тенденций в развитии отечественного сталеплавильного производства. Эффективность эксплуатации машин непрерывного литья заготовки (МНЛЗ) определяется, помимо совершенства технологии собственно разлива, также надежностью и сроком службы как установки в целом, так и отдельных её элементов. Особо важную роль играет при этом верность решений, принимаемых техническими службами предприятий, эксплуатирующих подобное оборудование, в период окончания гарантийных сроков и авторского надзора со стороны фирм – изготовителей.

Анализ исследований и публикаций. Анализ отечественных и зарубежных исследований и разработок показывает [1-3], что одним из основных способов оценки эффективности принимаемых на этой стадии

жизненного цикла оборудования решений является проведение исследований эксплуатационной надежности оборудования в реальных производственных условиях [4]. Поэтому, изучение отказов оборудования МНЛЗ в период после окончания гарантийных сроков на изделие в целом и отдельные его элементы, является вопросом актуальным.

Постановка задачи. Проанализировать отказы подшипников качения ходовых колес тележек газорезки шестиручьевой сортовой МНЛЗ с целью выявления возможных причин отказов и разработать мероприятия по их устранению.

Изложение материала и его результаты. Установленная на одном из отечественных заводов шестиручьевая сортовая МНЛЗ криволинейного типа предназначена для производства заготовки с квадратным сечением до 150 мм и круглым сечением до 120 мм. На горизонтальном участке зоны вторичного охлаждения (рисунок 1) над заготовками 1 расположена система горизонтальных направляющих 2, на базе водоохлаждаемых сварных балок, связанных общим водяным коллектором через который подается охлаждающая вода. По направляющим перемещаются тележки газорезательного устройства 3.

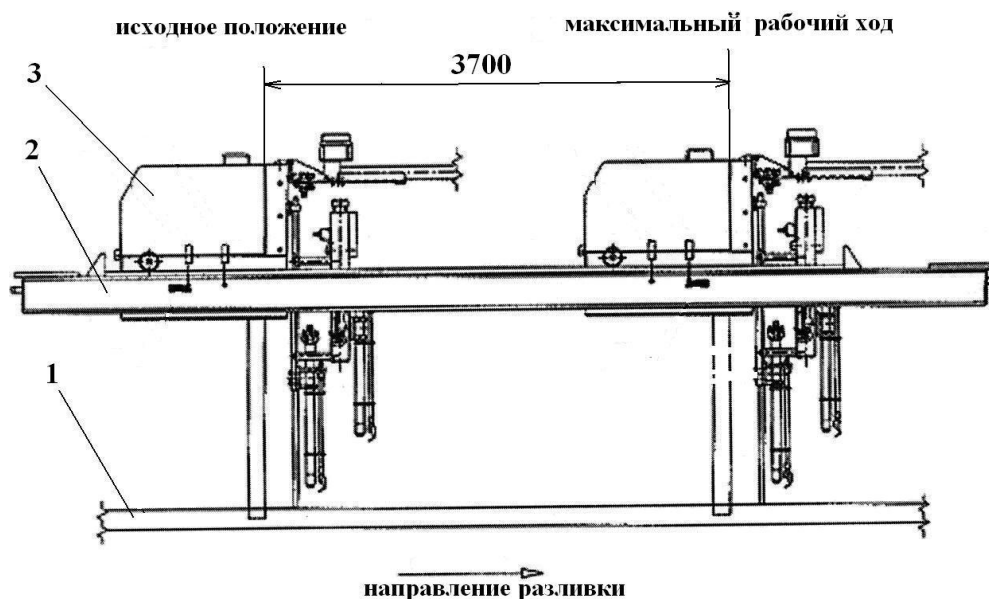


Рисунок 1 – Размещение тележек газорезки на МНЛЗ

Рама тележки 1 (рисунок 2) опирается на ходовые колеса 2 (опорные ролики с цапфой), оси которых жестко связаны с рамой 1. Перемещение тележки осуществляется при помощи приводной шестерни 3, находящейся в зацеплении с зубчатой рейкой, размещенной на горизонтальных направляющих, по которым движется тележка.



Рисунок 2 – Тележка газорезки, установленная на ремонтном стенде

Вес тележки, согласно проектной документации, составляет $Q = 12000$ Н, количество резов при разливке по одному ручью – 10...25 за 1 час. Расстояние, на которое перемещается тележка газорезки при порезке заготовки – 3700 мм. С целью уменьшения габаритов направляющих за счет сближения нижнего и верхнего опорных элементов (соответственно верхняя и нижняя полка направляющих), фирмой-изготовителем МНЛЗ в качестве опор ходовых колес были применены игольчатые подшипники. При одинаковых диаметрах отверстия и радиальной грузоподъемности эти подшипники обладают меньшими габаритами в радиальном направлении, чем подшипники других типов. Наружное кольцо подшипника выполняет в рассматриваемой конструкции функцию обода ходового колеса, перекатываясь в направляющих. Диаметр качения (внешний диаметр наружного кольца подшипника) $D = 78$ мм.

В течении пяти первых лет эксплуатации использовались рекомендованные фирмой – изготовителем подшипники, смазывавшиеся пластичной смазкой Mobil TEMP 78 или Mobil TEMP 1. В этот период, по данным агрегатных журналов, основными эксплуатационными событиями, приводившими к остановке газорезки и МНЛЗ для ревизии подшипников ходовых колес тележек и, при необходимости, к их замене, были подклинивания, вызывавшие наблюдавшееся обслуживающим персоналом проскальзывание колес при перемещении по направляющим. Если такой дефект своевременно не выявлялся и не устранялся путем смазывания или замены подшипника, то, из-за перекоса тележки в направляющих, возникал дефект на торцах разрезаемой заготовки – так называемый «косой рез». В ряде случаев, в агрегатных журналах фиксировался только сам факт замены подшипника, без указания события (подклинивание или косой рез), приводившего к необходимости замены подшипника. В таблице 1 приведены, на основе агрегатных журналов, данные о количестве вышеуказанных событий за первые пять лет эксплуатации МНЛЗ.

Таблица 1 – Отказы привода перемещения тележек газорезки, связанные с подшипниками ходовых колёс за первые пять лет эксплуатации

Событие	Ручей №1	Ручей №2	Ручей №3	Ручей №4	Ручей №5	Ручей №6
Подклинивание	3	4	7	8	3	3
Косой рез	4	3	2	4	4	4
Замена подшипника	10	12	12	11	8	10
ВСЕГО:	17	19	21	23	15	17

Из данных таблицы 1 видно, что наибольшее число отказов за рассматриваемый период имело место по 2...4 ручьям. Число отказов по крайним ручьям – 1-му, и 6-му а также 5-му несколько меньше. Это указывает на возможность того, что число наблюдаемых отказов связано с различными температурными условиями работы тележек – охлаждение крайних тележек (1-й и 6-й ручей) интенсивнее за счет омывания более холодным воздухом.

В январе месяце шестого года эксплуатации была проведена замена всех подшипников новыми. Использованы роликоподшипники игольчатые 50ZZ600 (рисунок 3): ширина наружного кольца $B = 20,6$ мм; диаметр наружного кольца $D = 78$ мм; диаметр ролика (иглы) $d_w = 4,96$ мм; длина ролика (иглы) $l = 14,9$ мм; $d_{\text{отв.смазки}} = 2,3$ мм. Ориентировочная динамическая грузоподъемность $C = 44000$ Н.

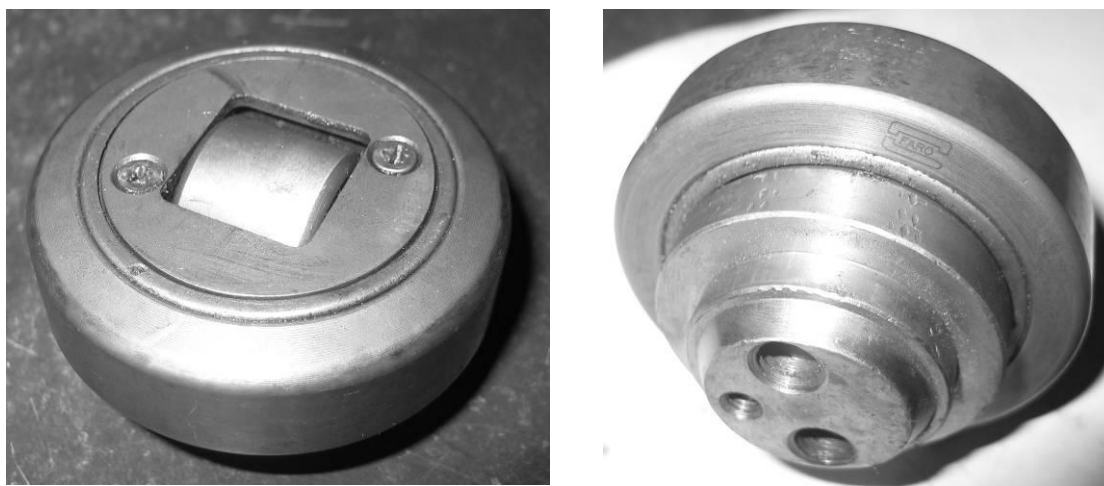


Рисунок 3 – Общий вид опорного игольчатого подшипника с цапфой

Для этих подшипников рекомендована пластичная смазка с бентонитовым загустителем. Класс NLGI – 2 (пенетрация 265 – 295 мм/10). Температура каплепадения (ASTM) – более 260°C. Тест SKF R2F В при 165°C (1500 об/мин, 11 дней). Тест SKF R2F С при 165°C (600 об/мин,

11 дней). Тест SKF R0F при 150°C – более 1000 часов. Стабильность хранения – отделение масла 0,5% (168 часов при 40°C DIN 51817). Кинематическая вязкость - 484 мм²/с при 40°C; 32,1 мм²/с при 100°C. Классификация по DIN 51825 часть1 – K2N; классификация по DIN 51502 – KH2R.

После замены всех подшипников тележек газорезки МНЛЗ было зафиксировано резкое увеличение числа отказов, связанных с подшипниками ходовых колес. Данные о количестве отказов в период шестого года эксплуатации, приведены в таблице 2.

Из данных таблиц 1 и 2 следует, что, по сравнению с первыми пятью годами эксплуатации, среднегодовое количество отказов существенно возросло. Так, для тележки ручья №1 этот показатель увеличился в 1,76 раза (с 3,4 до 6) а для тележки наиболее проблемного ручья №2 – в 3,94 раза (с 3,8 до 15). Для определения причин такого явления выполнены оценка фактического состояния демонтированных подшипников, проверочный расчет подшипника, анализ геометрии направляющих и теплового состояния зоны, в которой он работает, оценка решений по смазке подшипниковых узлов, реализованных в исследуемом агрегате.

Таблица 2 – Отказы привода перемещения тележек газорезки, связанные с подшипниками ходовых колёс за шестой год эксплуатации

Событие	Ручей №1	Ручей №2	Ручей №3	Ручей №4	Ручей №5	Ручей №6
Подклинивание	0	0	0	0	0	1
Косой рез	2	4	2	3	2	1
Замена подшипника	4	11	11	10	7	8
ВСЕГО:	6	15	13	13	9	10

Осмотр элементов демонтированных подшипников показал, что:

1. На поверхностях качения внутренних колец имеется локальный износ, свидетельствующий о воздействии местной нагрузки, постоянной по направлению.

2. На роликах (иголках) имеются следы износа, смещенные к одной стороне.

3. Следы износа на внутреннем кольце указывают на перекосяк подшипника.

4. На наружном кольце также имеется смещение следов износа, ступенчатое расположение площадок износа, что может быть результатом проскальзывания подшипника.

4. Имеет место засветление торцов роликов, что является результатом действие осевой нагрузки.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что работа подшипника сопровождается перекосами его колец друг относительно друга. Такое явление не допустимо при нормальной работе игольчатых подшипников.

Расчет долговечности подшипника проведен по модифицированному уравнению долговечности, принятому организацией ИСО [5]. Принятое количество резов при разливке по одному ручью – 10...25 за 1 час. Расстояние перемещения кабины резака – 3700 мм. Количество оборотов при одном резе 30. Количество оборотов за день $30 \cdot (10...25) = 300...750$. Максимальное количество оборотов подшипника за год (при 300 рабочих сутках в году) составит $750 \cdot 300 = 225000$ оборотов. Из результатов расчета следует, что по нагрузочным характеристикам при уровне надежности 90% срок службы подшипника должен составить (с учетом остановок оборудования) порядка сорока лет, что явно не соответствует действительности.

Частично такое несоответствие может быть объяснено тем, что для нормальной работы игольчатых подшипников на них должна при работе воздействовать нагрузка не менее 0,02 С (С – статическая грузоподъемность подшипника) [5]. В нашем случае такая минимально необходимая сила $P_{мин} = 0,02 \cdot 44000 = 880$ Н. Реально действующая нагрузка, из-за возможного отрыва ходовых колес от направляющих (опирание тележки на три из четырёх колёс) меняется в диапазоне 0...4000 Н. Это создает условия для проскальзывания подшипников. Способствует этому и установленный при измерениях цеховой ремонтной службой неравномерный износ направляющих тележек газорезки по отдельным ручьям. В ходе измерений, выполнявшихся в октябре шестого года эксплуатации МНЛЗ проведено определение ширины колеи и расстояния между полками направляющих для каждого ручья через 1 метр пути. Измерения проводились с использованием мерительного инструмента (штангенциркуля, щупов) и эталонной линейки. При номинальном расстоянии между верхней и нижней полкой направляющих 79,0 мм фактическая величина составила от 79,0 до 80,8 мм. Наибольшее значение этого размера для ручья №5. При номинальной ширине колеи 856,0 мм фактическая величина составила от 856,0 до 864,0 мм. Наибольшее значение этого размера для ручьёв №№ 1,2 и 5. В наилучшем состоянии оказался крайний ручей №6. Кроме этого на нижних полках направляющих были обнаружены следы пластической деформации, что также может быть объяснено перемещением заклиненных колес по нагретым свыше ожидаемой температуры направляющим.

Для оценки возможности причин неравномерного нагрева направляющих была проанализирована техническая документация на водяной коллектор, через который подается охлаждающая вода к водоохлаждае-

мым сварным балкам, на которых расположена система горизонтальных направляющих. Анализ показал, что существующая конструкция коллектора для подвода воды к водоохлаждаемым балкам приводит к неравномерному распределению воды между ручьями. Следствием может являться различие температуры водоохлаждаемых балок. Для проверки этого предположения в октябре и декабре шестого года эксплуатации с помощью тепловизора была измерена, в процессе работы МНЛЗ, температура на днищах тележек газорезки. Результаты замеров:

Замеры температуры (октябрь) на днищах тележек ручьев №№:
1 – 152 °С; 2 – 188 °С; 3 – 96 °С; 4 – 89 °С; 5 – 143 °С; 6 – 139 °С.

Замеры температуры (декабрь) на днищах тележек ручьев №№:
1 – 134 °С; 2 – 85 °С; 3 – 99 °С; 4 – 101 °С; 5 – 147 °С; 6 – 138 °С.

Таким образом, направляющие нагреваются неравномерно, существующая система охлаждения не обеспечивает их эффективного и равномерного охлаждения. Температура в зоне работы подшипников привода тележек газорезки составляет примерно 90...140 °С. Это приводит к окислению обычной смазки с верхней температурной границей около + 140 °С в течение 5...100 дней исходя из положений, приведенных в работе [6].

Учитывая, что, сходные по конструкции с примененными в рассматриваемой МНЛЗ, опорные ролики на игольчатых подшипниках фирмы SKF поставляются для диапазона рабочих температур от – 30 °С до + 110 °С заполненными литиевой пластичной смазкой с вязкостью 3 по NLGI, следует перейти к смазке ходовых колес тележек газорезки пластичной высокотемпературной смазкой класса NLGI – 4 (пенетрация 175 – 205 мм/10) с периодичностью пополнения не реже одного раза в сутки. Перспективным представляется также переход на жидкую смазку с противозадирной присадкой, в том числе с использованием пленочной системы подачи смазки «масло - воздух». Условием возможности перехода к жидкой смазке является повышение эффективности системы охлаждения направляющих.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. После полной замены игольчатых подшипников в опорах ходовых колес тележек газорезки шестиручьевого МНЛЗ, несмотря на высокую расчетную долговечность работы, имеет место ускоренный их выход из строя, приводящий к неплановым простоям всего комплекса МНЛЗ. Среднегодовое количество отказов по таким подшипникам существенно возросло - в 1,76...3,94 раза.

2. Характер дефектов, выявленных на демонтированных подшипниках, свидетельствует о том, что их работа сопровождается перекосами колец подшипников друг относительно друга, что не допустимо при ис-

пользовании игольчатых подшипников и, в сочетании с коксованием неудачно выбранной смазки, ведет к заклиниванию ходовых колес.

3. Экспериментально установлено, что температура в зоне работы подшипников привода тележек газорезки составляет 90...140 °С, что требует применения высокотемпературной пластичной смазки класса NLGI – 4 (пенетрация 175 – 205 мм/10) с периодичностью пополнения не реже одного раза в сутки вместо используемой обычной смазки класса NLGI – 2 (пенетрация 265 – 295 мм/10).

4. Считаем целесообразным проведение дальнейших исследований направленных на поиск конструктивных, технологических и иных решений, направленных на исключение вышеописанных вредных явлений, приводящих к неплановым простоям МНЛЗ.

Библиографический список

1. Гребеник В.М., Цапко В.К. *Надёжность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надёжности и долговечности)*. – М.: Металлургия, 1980.–344 с.

2. Кравченко В.М. *Техническое обслуживание и диагностика промышленного оборудования*. – Донецк: Юго-Восток, 2004. – 504 с.

3. Гребеник В.М., Гордиенко А.В., Цапко В.К. *Повышение надёжность металлургического оборудования* – М.: Металлургия, 1988. – 688 с.

4. Кравченко В.М., Сидоров В.А., Буцукин В.В. *Особенности организации взаимосвязи проектных, машиностроительных и горнометаллургических предприятий в процессе эксплуатации оборудования //Захист металургійних машин від поломок: Зб. наук. пр. – Вип.10. – 2008. – С. 7 – 11.*

5. *Общий каталог SKF. Каталог 6000 RU. Октябрь 2006 г. 1129 с.*

6. *Справочник SKF по техническому обслуживанию подшипников качения. Публикация 4100 R. Reg. 70 3000 1995 г. 335 с.*