

- Коротков В.А., Агафонов Э.Ж. Шекуров А.В., Ячменев Э.В. // Горный журнал, 2006. №2. С. 59-61.
20. Из опыта ремонтной сварки горно-металлургического оборудования. / Коротков В.А., Михайлов И.Д. // Сварочное производство, 2011. №7. С. 41-48.
21. Коротков В.А. Опыт применения сварочных полуавтоматов на предприятиях Уральского региона. // Сварочное производство, 2004. №3. С. 32-36.
22. Из опыта эффективного использования механизированной сварки в среде аргона. / Коротков В.А., Максимов В.Н., Сумеркин В.П. // Сварка и Диагностика, 2008. №4. С.25-26.
23. Исследование наплавки на роликах МНЛЗ. / Коротков В.А., Михайлов И.Д., Бабайлов Д.С. // Сварочное производство, 2007. № 1. С. 30-31.
24. Моделирование напряженно-деформированного состояния штампа для формовки

- труб большого диаметра. / Гончаров К.А., Чечулин Ю.Б. // Ремонт, восстановление, модернизация, 2011. №7. С.33-38.
25. Ремонтная сварка траверсы пресса. / Коротков В.А., Зотов С.А. // Сварка и Диагностика, 2008. №5. С.26-27.
26. Ремонтная сварка пресса СКВ-6000. / Коротков В.А., Михайлов И.Д., Панов В.И. // Ремонт, восстановление, модернизация, 2009. № 2. С. 4-7.
27. Совершенствование технологий ремонта ковша и рукояти экскаватора ЭКГ-5А. / Коротков В.А., Гаев А.С. // Технология машиностроения, 2010. №10. С.47-50.
28. Совершенствование технологий сварки и наплавки в ремонтах горного оборудования. / Коротков В.А., Агафонов Э.Ж., Веснин А.М. // Горный журнал, 2008. №4. С. 82...85.
29. ООО «Балтех». // www.baltechprom.ru - просмотр 14.10.2015.



УДК 621.771.25.08

Н.Ш. Тютеряков
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: ntc.mgtu@mail.ru
Дата поступления 26.11.2015

АНАЛИЗ ДЕТАЛЕЙ ВАЛКОВОЙ АРМАТУРЫ PRD СОРТОПРОКАТНОГО СТАНА 450 ОАО «ММК» ПО КРИТЕРИЯМ НАДЕЖНОСТИ

Аннотация

Работа посвящена изучению износостойкости изнашиваемых деталей валковой арматуры качения – роликов. Предложена методика определения критериев надежности валковой арматуры PRD. Выполнена статистическая обработка наработок деталей арматуры PRD. Выполнен расчет ресурса деталей валковой арматуры PRD. Определен необходимый месячный, а также годовой запасы в роликах, подшипниках, осей, накладок и винтовых пар валковой арматуры. Предложены рекомендации по повышению надежности валковой арматуры.

Ключевые слова: валковая арматура, сортовой стан, прокатная клеть, надежность.

Введение

Валковая арматура, образуя с прокатными валками единый комплекс технологического инструмента, является неотъемлемой частью основных агрегатов сортовых станов – рабочих клетей [4]. Она включает в себя детали, работающие длительное время и не требующие замены, регулярного

восстановления – арматурные брусья, коробки, крепежные элементы и др. В то же время валковая арматура содержит сменные детали, подвергающиеся изнашиванию. Эти детали требуют периодической замены или восстановления.

Износостойкость сменных деталей валковой арматуры во многом определяет

качество готового проката, ритмичность работы стана, что, в конечном счете определяет конкурентоспособность выпускаемой продукции как на внешнем, так и на внутреннем рынках.

Поэтому в данной работе основное внимание было уделено изучению износоустойчивости изнашиваемых деталей валковой арматуры качения.

Основная часть

Для анализа надежности машин в процессе эксплуатации необходимо иметь сведения о наработках до отказа элементов, на основании которых осуществляют оценивание показателей надежности исследуемого объекта. Получение же оценок надежности основано на различных предположениях о законах распределения наработок до отказа.

Исследование надежности металлургического оборудования показало, что наработки оборудования можно описать в большинстве случаев следующими распределениями [1,2]:

- экспоненциальным (показательным);
- нормальным;

Экспоненциальное распределение характерно для внезапных отказов (поломках), когда элемент не стареет, а также для отказов сложных технических систем независимо от причины их возникновения.

Нормальным распределением описываются наработки, длительность которых определяется процессами изнашивания (старения).

Для экспоненциального распределения:

плотность вероятности отказов

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \quad (1)$$

интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \lambda = \text{Const}; \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad (3)$$

числовые характеристики:

$$\lambda = \frac{1}{T};$$

Средняя наработка

$$T = M\xi \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{1}{\lambda};$$

$$v = \sigma/T = 1.$$

Характерным признаком экспоненциального распределения является равенство коэффициента вариации v единице. Экспоненциальное распределение является распределением без последствий, так как $\lambda = \text{Const}$, т.е. вероятность отказа в каждую последующую единицу времени остается неизменной сколько бы ни проработал безотказно элемент до данного момента времени. Но необходимо отметить, что вероятность безотказной работы с течением времени снижается, т.е. чем дальше рассматривается момент времени от начала эксплуатации, тем меньше вероятность того, что объект будет находиться в работоспособном состоянии.

Но если объект не отказал к рассматриваемому моменту времени, то вероятность его отказа в последующую единицу времени будет та же, что и в начальный момент эксплуатации.

Значения показателей безотказности, определяемые по результатам испытаний, являются оценками показателей надежности.

Нормальное распределение – это двухпараметрическое распределение с плотностью

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (5)$$

где μ, σ – параметры распределения.

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{\left[0,5 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1}}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right); \quad (6)$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = 0,5 - \Phi((t-\mu)/\sigma), \quad (7)$$

где $(t-\mu)/\sigma = u_q$ – квантиль нормированного распределения.

Числовые характеристики распределения:

средняя наработка

$$T = M\xi = \mu; \quad (8)$$

коэффициент вариации

$$v = \sigma/\mu;$$

За значения показателей надежности принимают точечную оценку или границы

доверительного интервала (нижнюю (НДГ) и верхнюю (ВДГ)) границы.

Вычисление НДГ осуществляется по следующим формулам.

Экспоненциальное распределение

Средняя наработка

$$\hat{T} = 1/\hat{\lambda}; \quad (9)$$

Нижняя доверительная граница средней наработки до отказа

$$\underline{T} = \hat{T} \frac{2(N-1)}{\chi_{\alpha, 2N}^2}. \quad (10)$$

Нормальное распределение

Средняя наработка

$$\hat{T} = \hat{\mu}; \quad (11)$$

Нижняя доверительная граница средней наработки до отказа

$$\underline{T} = \hat{T} - t_{q; (r-1)} \cdot \left(\hat{\sigma} / \sqrt{r} \right); \quad (12)$$

где $t_{q; (r-1)}$ – квантиль распределения Стьюдента.

Надежность систем определяется надежностью входящих в ее состав элементов. При оценке надежности системы важно выяснить влияние на вероятность ее безотказной работы:

- количества входящих в нее элементов;
- вероятности безотказной работы элементов;
- способов соединения элементов в системе.

Элементы в системе могут иметь соединение последовательное, параллельное, смешанное.

Рабочие элементы валковой арматуры сортовых станов являются системой с последовательным соединением элементов.

Для такой системы при известной вероятности безотказной работы элементов P_i вероятность ее безотказной работы P_s находится из зависимости

$$P_s = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (13)$$

где правая часть представляет собой произведение вероятностей безотказной работы элементов.

Система с параллельным соединением элементов – это такая система, которая не выходит из строя, пока не отказали все ее элементы.

Вероятность безотказной работы такой системы P_s с вероятностью безотказной работы P_i находится из зависимости

$$P_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i). \quad (14)$$

При анализе системы с параллельным соединением элементов подразумевается, что при включении системы включаются все элементы и что отказы не влияют на надежность элементов, продолжающих работать.

В валковой арматуре все элементы выполняют одну и ту же функцию. В такой ситуации элементы, как правило, бывают одинаковыми и имеют равную надежность.

Поэтому этот тип резервирования называют горячим или нагруженным резервом. Вероятность безотказной работы такой системы

$$P_s(t) = 1 - [1 - P(t)]^n. \quad (15)$$

Средняя наработка системы в случае экспоненциального распределения

$$T_s = \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n} \right), \quad (16)$$

где n – число элементов в системе.

Если каждый элемент имеет экспоненциальное распределение наработки и одинаковую интенсивность отказов, то вероятность безотказной работы системы для $n=2$ (дублирование) найдем из зависимости

$$P_s(t) = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}, \quad (17)$$

а средняя наработка системы до отказа

$$T_s = 3/(2\lambda). \quad (18)$$

Значительная часть элементов металлургического оборудования при отказах не заменяется на новые, а восстанавливается.

Рабочая часть валковой арматуры, принятая за элемент при анализе надежности, является восстанавливаемым элементом, так как любой отказ устраняется путем замены либо конкретной детали, либо узла, в состав которого входит отказавшая деталь. Если же валковую арматуру при анализе надежности считать системой, а входящие в нее узлы – элементами и отказы устраняются путем замены узлов, то такая система называется восстанавливаемой, а элементы (узлы) – невосстанавливаемыми.

Характеристики процесса восстановления являются характеристиками надежности восстанавливаемого объекта. Основные из этих характеристик следующие:

- число отказов до момента t - $v(t)$, имеющее распределение:

$$P[v(t) = r] = F_r(t) - F_{r+1}(t), \quad (19)$$

где

$$F_r(t) = P[t_r < t];$$

- функция восстановления (поток отказов) - среднее число отказов до момента t - $H(t)$, $\Omega(t)$:

$$H(t) = Mv(t) = \sum_{k=1}^{\infty} F_k(t). \quad (20)$$

Отсюда среднее число отказов на интервале $[t_1, t_1 + x]$ равно

$$H(t+x) - H(t);$$

- интенсивность отказов (плотность восстановления) - $h(t)$, $\omega(t)$

$$h(t) = H^1(t) = \sum_{k=1}^{\infty} f_{k(t)} \quad (21)$$

Во многих случаях восстанавливаемый элемент функционирует в течение времени t , которое во много раз больше средней наработки на отказ. В этом случае среднее число отказов на интервале $[0, t]$ приближенно равно

$$H(t) \approx \frac{t}{T} + \frac{\sigma^2 - T^2}{2T^2}. \quad (22)$$

Если элемент восстанавливается путем замены входящей в его состав отказавшей части и функционирует время t , то $v(t) \leq n_0$ есть число запасных элементов, необходимых для непрерывной работы элемента до момента t . Тогда

$$n_0 = \left(\frac{t}{T} \right) + u_q \sqrt{\sigma^2 \cdot t / T^3} \quad (23)$$

где u_q - квантиль распределения ($u_{q=0,90 \dots 0,95} = 1,3 \dots 1,65$).

Стойкость роликов на различных типоразмерах этой арматуры (рисунок. 1) не одинакова (таблицы 1 - 3). На арматуре PRD01 средняя наработка составляет 11900т; PRD02 - 11500 т, а PRD03 - 3440 т [5]. Такие значительные расхождения в показателях объясняются увеличивающимися

динамическими нагрузками. Необходимый месячный запас в роликах должен составлять исходя из объемов производства и учета комплектации стана арматурой 7, 8 и 4 шт. соответственно. Годовой запас 75, 82 и 41 шт.

Подшипники также имеют неодинаковый ресурс. На арматурах PRD01 и PRD02 долговечность составляет 167 и 127 тыс.т, на арматуре PRD03 ресурс значительно ниже - 20600 т. Причинами этого являются разрушения подшипников в результате значительных динамических нагрузок. Это в свою очередь приводит к преждевременному выходу осей, средний срок службы которых составляет 27500т. На арматуре более легкой серии ресурс осей соизмерим с годовой производительностью стана и составляет на PRD01 - 295 тыс.т и 180 тыс.т на PRD02. Необходимый годовой запас для обеспечения бесперебойной работы составляет 42 и 60 шт. соответственно.

Накладки используются для компенсации нагрузок на ролики и удерживают прокат в случаях возникновения перекосов. Изношенные накладки восстанавливаются наплавкой; замена осуществляется в случаях их разрушения или срыва. Такие отказы являются внезапными и их появление трудно прогнозировать. Поэтому из анализа вероятности возникновения таких случаев за 2006 год был рассчитан их средний ресурс который составил для PRD01 - 295 тыс.т и 311 тыс.т - PRD02. Накладки на PRD03 выходят значительно чаще и их ресурс составляет - 41 тыс.т.

Винтовые пары, предназначенные для регулировки, выходят из строя по причине износа. Средний ресурс составляет 106 тыс.т - PRD01, 54.5 тыс.т - PRD02 и PRD03 - 10.3 тыс.т. На интенсивность износа винтовых пар влияют наличие загрязнений в виде окалины и нагрузки, возникающие в процессе прокатки.

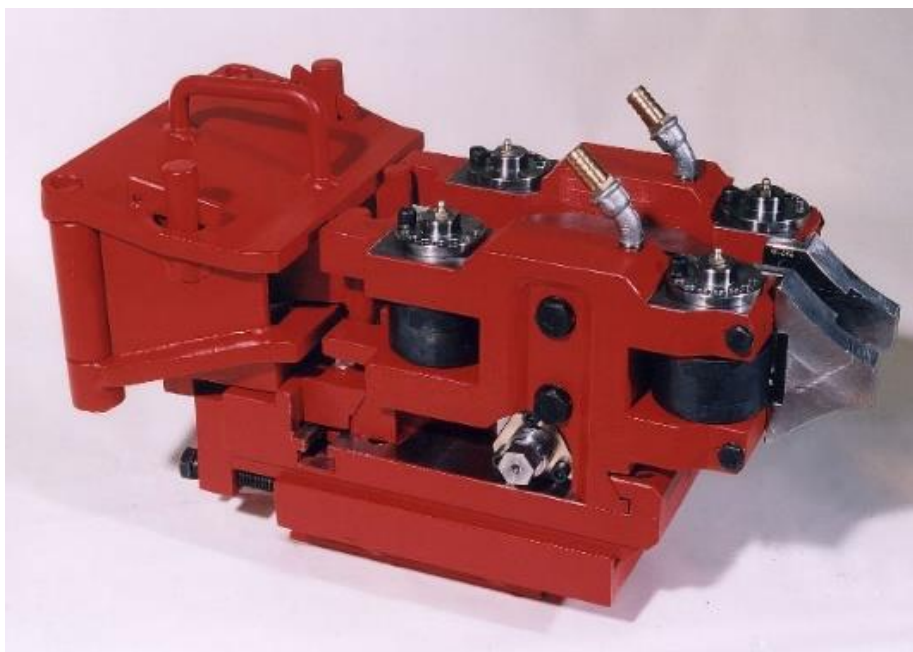


Рисунок 1. Четырехроликовая арматура PRD

Таблица 1

Результаты статистической обработки наработок деталей арматуры PRD 01

арматура	PRD 01				
	наработка (тон.)				
деталь	ролик 1	подш. 1	ось	винтовые	накладки
1	2	3	4	5	6
1	14000	196000	-	34000	-
2	11500	161000	-	68000	-
3	12500	175000	-	85000	-
4	11000	154000	-	143000	-
5	14000	196000	-	204000	-
6	13000	182000	-	-	-
7	11000	154000	-	-	-
8	10500	147000	-	-	-
9	10000	140000	-	-	-
10	11500	161000	204000		204000
число замен	67	57	10	5	10
$P(t)$	-	-	0,5	-	0,5
λ	-	-	3,4E-06	-	3,4E-06
Средняя наработка T	11900,0	166600,0	294309,8	106800,0	294309,8
Стандарт отклонения σ	1410,3	19743,9	294309,8	67154,3	294309,8
НДГ T	11507,5	161105,7	294309,8	80371,6	294309,8
Комплект	20	40	20	5	20
Отказов в месяц При производстве 17000 т.	1,7	0,2	0,5	0,8	0,5
Отказов в год При производстве 204 тыс.т.	18,6	1,5	2,1	4,7	2,1
Запчастей на год	74,3	59,8	41,3	23,7	41,3
запчастей на месяц	6,9	6,8	9,1	4,2	9,1

Таблица 2

Результаты статистической обработки наработок деталей арматуры PRD 02

Арматура	PRD 02				
	наработка (тон.)				
Деталь	ролик 1	подш. 1	ось	винтовые	накладки
1	2	3	4	5	6
1	13500	148500	-	59400	-
2	11500	126500	-	50600	-
3	12500	137500	-	55000	-
4	11000	121000	-	48400	-
5	13500	148500	-	59400	-
6	13000	143000	-	57200	-
7	9000	99000	-	39600	-
8	10500	115500	-	46200	-
9	9500	104500	-	41800	-
10	11500	126500	216000	50600	216000
число замен	79	78	14	14	10
P(t)	-	-	0,3	-	0,5
λ	-	-	5,6E-06	-	3,21E-06
Средняя наработка T	11550,0	127050,0	179406,0	54560,0	311622,1
Стандарт отклонения σ	1589,0	17479,3	179406,0	5016,8	311622,1
НДГ T	11107,8	122185,9	179406,0	52585,7	311622,1
Комплект	20	40	20	5	20
Отказов в месяц При производстве 18000 т.	1,9	0,2	0,6	0,4	0,5
Отказов в год При производстве 216 тыс.т.	20,5	2,1	3,0	4,4	2,1
Запчастей на год	81,9	83,3	60,3	22,1	41,3
запчастей на месяц	7,7	9,5	12,5	2,2	9,1

Таблица 3

Результаты статистической обработки наработок деталей арматуры PRD 03

арматура	PRD 03				
	наработка (тон.)				
деталь	ролик 1	подш. 1	ось	винтовые	накладки
1	2	3	4	5	6
1	4000	24000	32000	12000	48000
2	3400	20400	27200	10200	40800
3	3000	18000	24000	9000	36000
4	2900	17400	23200	8700	34800
5	3500	21000	28000	10500	42000
6	4100	24600	32800	12300	49200
7	3400	20400	27200	10200	40800
8	3500	21000	28000	10500	42000
9	3000	18000	24000	9000	36000
10	3600	21600	28800	10800	43200
число замен	38	61	18	10	13
Средняя наработка T	3440,0	20640,0	27520,0	10320,0	41280,0
Стандарт отклонения σ	403,3	2419,9	3226,6	1210,0	4839,8
НДГ T	3327,8	19966,6	26622,1	9983,3	39933,2
Комплект	4	8	4	1	4
Отказов в месяц При производстве 13500 т.	4,5	0,8	0,6	1,6	0,5
Отказов в год При производстве 162 тыс.т.	50,1	8,7	6,6	17,0	4,5
Запчастей на год	40,1	69,5	26,3	17,0	17,8
запчастей на месяц	3,6	6,7	2,6	1,6	1,8

Из приведенных данных следует, что наименьшими показателями надежности, а именно долговечностью, обладают детали арматуры PRD03. Это объясняется тем, что данная арматура используется при прокатке самых крупных профилей и подвержена чрезмерным нагрузкам, что приводит к разрушению подшипников, повреждению роликов и осей, разрушению и срыву накладок и деформации винтовых пар. Таким образом, для повышения надежности необходимо, либо изменить конструкцию с целью повышения несущей способности подшипниковых узлов, либо заменить арматуру типа PRD на арматуру скольжения.

Заключение

1. Предложена методика определения критериев надежности валковой арматуры PRD.
2. Выполнена статистическая обработка наработок деталей арматуры PRD.
3. По методике выполнен анализ деталей валковой арматуры PRD по критериям надежности.
4. Определен необходимый месячный, а также годовой запасы в роликах, подшипниках, осей, накладок и винтовых пар валковой арматуры.
5. По результатам расчета выявлено, что наименьшими показателями именно долговечностью, обладают детали арматуры PRD03, т.к. она используется при прокатке самых крупных профилей и подвержена чрезмерным нагрузкам.

6. Предложены рекомендации по повышению надежности валковой арматуры, заключающиеся в изменении конструкции с целью повышения несущей способности подшипниковых узлов, либо в замене арматуры типа PRD на арматуру скольжения.

Библиографический список

1. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин: Учебник. - Магнитогорск: МГТУ, 2002. - 330с.
2. Гребенник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности): Справочник. - М.: Металлургия, 1980. -230с.
3. Методика оценки надежности валковой арматуры сортовых станов. /Л.Е. Кандауров, Н.В. Оншин, Н.Ш. Тютеряков, С.Я. Унру. // Труды VII конгресса прокатчиков (15-18 октября 2007г, Москва). Том 1.-М., 2007.-С.525-528.
4. Моделирование условий эксплуатации роликовой валковой арматуры сортовых станов. Новицкий Р.В., Остапчук А.М., Оншин Н.В., Тютеряков Н.Ш., Коковихин А.В. Черные металлы. 2012. № 6. С. 64-67.
5. Валковая арматура сортовых станов: назначение, конструкции, надежность /Л.Е. Кандауров, Н.В. Оншин, Н.Ш. Тютеряков и др.// Учеб. Пособие. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – 161с.