

————— Расход № 1 – 8,94 % шубаркольского угля от массы концентрата и руды;  
 ————— Расход № 2 – 23,05 % шубаркольского угля от массы концентрата и руды

Рисунок 3 – Дериватограммы железомарганцевого концентрата (а) и руды (б) месторождения Жомарт в смеси с шубаркольским углем в атмосфере аргона

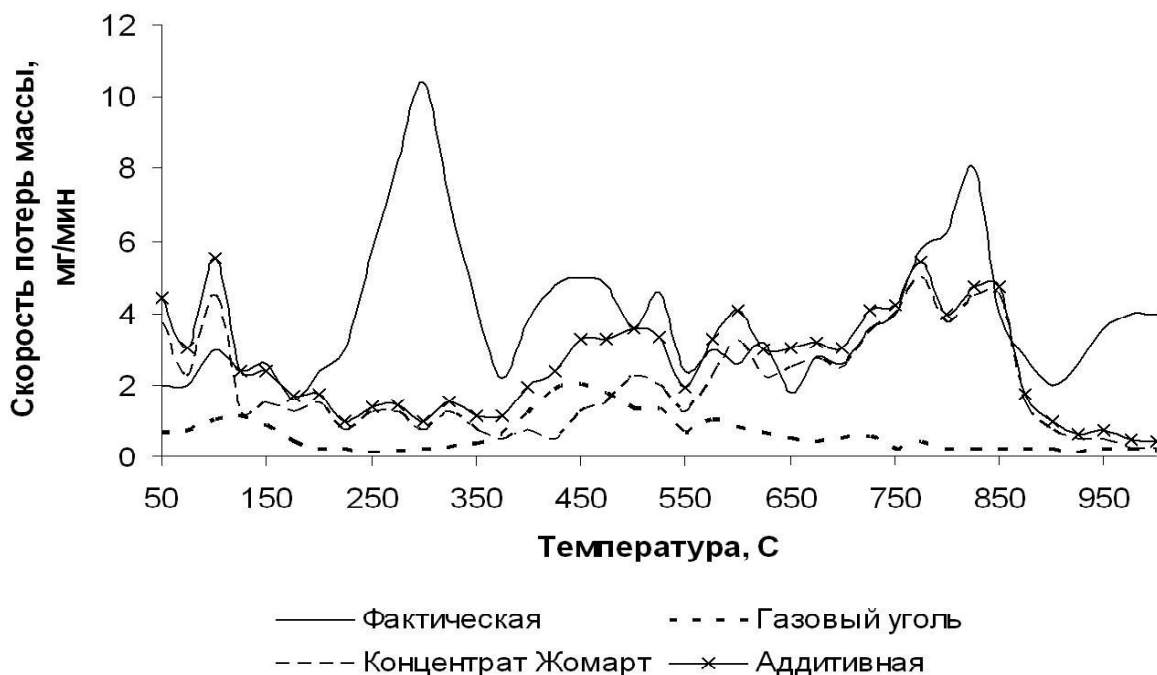


Рисунок 4 – Скорость потерь массы при непрерывном нагреве с заданной скоростью (10 °С/мин) в атмосфере аргона

**УДК 621.771.23**

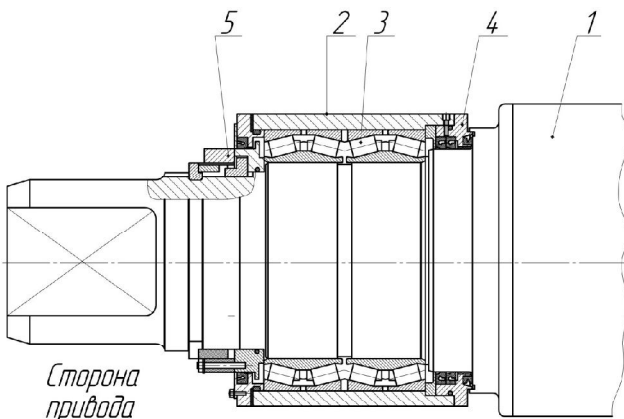
**В.И. КЛЮКОВ,  
М.М. СИТКИН**

### Исследование характера и причин выхода из строя подшипников качения рабочих валков клетей чистовой группы НШС-1700

Непрерывный широкополосовой стан 1700 горячей прокатки (далее НШС-1700) листопрокатного цеха № 1 (далее ЛПЦ-1) АО «АрселорМиттал Темиртау» предназначен для производства горячекатаных полос толщиной 1,2÷16,0 мм и шириной 700÷1550 мм, смотанных в рулоны массой до 23 т (Технологическая инструкция ТИ-Л-33-70.– Темиртау: КарМетК, 1970).

В состав чистовой группы входят аналогичные по конструкции четырехвалковые клетки № 6-12. Опоры каждого рабочего валка (рисунок 1) состоят из двух подушек с установленным в каждой из них четырехрядным коническим роликоподшипником № 77888. Смазывание подшипника в опоре осуществляется пластичной смазкой закладным способом. Опора со

стороны перевалки – фиксированная в станине от осевого смещения, опора со стороны привода – «плавающая» (не фиксирована).



1 – валок; 2 – подушка; 3 – подшипник; 4 – передняя крышка; 5 – задняя крышка  
Рисунок 1 – Опора рабочего валка клетки чистой группы НШС-1700

Одним из недостатков опор рабочих валков чистой группы клеток № 6-12 является низкий срок службы подшипников (средняя наработка до отказа 567-1009 ч, минимальная наработка до отказа 3-44 ч). По данным цеховых журналов, причинами отказов подшипников являются: выкрошка тел качения (роликов) и обойм; поломка сепараторов (сколы, разрывы); поломка обойм подшипников (разрывы, трещины, сколы); «сгорание» подшипников.

Соотношение повреждений подшипников (к общему числу вышедших из строя) представлено в таблице 1. Термин «сгорание» подшипника означает, что в процессе эксплуатации вследствие возрастания температуры подшипника в нем выгорает смазка. После аварийной перевалки и разборки опоры видна остаточная деформация на телах качения (отклонения от круглости, вмятины) и беговых дорожках обойм (вмятины), нагар на телах качения и обоймах, оплавленный или разрушенный сепаратор.

Для определения причин выхода из строя рассматриваемых подшипников в данной работе была поставлена задача установить закон распределения

вероятности наработки подшипников до отказа и определить их показатели надежности (теоретическую плотность распределения наработки до отказа  $f(t)$ , вероятность отказов  $Q(t)$ ).

С этой целью использовали информацию об отказах всех подшипников клеток № 6-12 за указанный период (таблица 1). В связи с универсальностью закона Вейбулла его применили для оценки показателей надежности работы подшипников, определяемых по формулам [1]:

– теоретическая плотность распределения наработки до отказа  $f(t)$ :

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \times \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right], \quad (1)$$

где  $a$  – параметр масштаба (задает масштаб кривой распределения по оси абсцисс);

$b$  – параметр формы (определяет остроту и асимметрию кривой плотности распределения);

– вероятность отказов  $Q(t)$ :

$$Q(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right]. \quad (2)$$

Результаты расчетов представлены в виде графиков (рисунки 2, 3) и в таблице 2.

Согласованность теоретических и статистических распределений вероятностей отказов проверяли по критерию Колмогорова [1]. Вероятность согласованности составила 0,8-0,9. Это свидетельствует о достоверности принятых теоретических распределений.

В результате расчетов установили (таблица 2), что параметр  $b$  в клетях меньше или равен единице ( $b \leq 1$ ):

А) в клетях № 7, 9-12 параметр  $b < 1$ ;

Б) в клетях №6, 8 параметр  $b \approx 1$ .

Параметр  $b \leq 1$  закона Вейбулла согласно [1] показывает, что большинство отказов подшипников являются внезапными (аварийными), связанными с поломками и разрушениями. Они вызваны в основном перегрузками, нарушениями правил технической эксплуатации и организационными причинами.

Аварийный выход из строя опор рабочих валков подтверждается количеством «сгоревших» подшипников, составляющих около половины всех разрушений (таблица 1).

Таблица 1 – Соотношение повреждений подшипников рабочих валков НШС-1700 к общему числу вышедших из строя

Номер клетки	Причина отказа подшипника								Общее количество подшипников, вышедших из строя, шт
	Выкрошка тел качения и беговых дорожек обойм		Поломка обойм		«Сгорание» подшипника		Поломка сепаратора		
	шт	%	шт	%	шт	%	шт	%	
№ 6	34	48,6	1	1,4	25	35,7	10	14,3	70
№ 7	94	58,4	4	2,5	46	28,6	17	10,6	161
№ 8	146	64,9	2	0,9	66	29,3	11	4,9	225
№ 9	190	51,5	2	0,5	167	45,3	10	2,7	369
№ 10	157	41,5	4	1,1	207	54,8	10	2,7	378
№ 11	124	37,7	6	1,8	192	58,4	7	2,1	329
№ 12	157	34,1	3	0,7	288	63	10	2,2	460
Сумма*	902	45,4**	22	1,1**	991	49,9**	71	3,6**	1986

Примечание: Информация об отказах подшипников клеток № 6-12 стана представлена с января 2002 по июнь 2009 г.  
\*Сумма отказов подшипников в клетях № 6-12. \*\*Процент по каждой причине отказов подшипников подсчитан от их общей суммы.

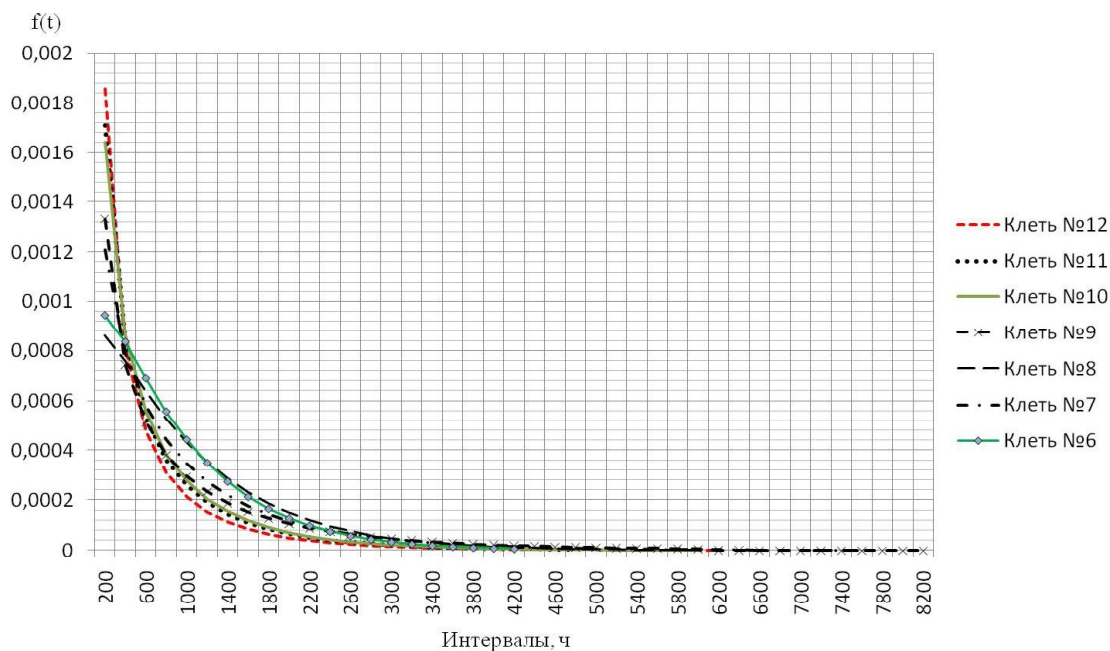


Рисунок 2 – Теоретическая плотность распределения вероятности наработки до отказа  $f(t)$  подшипников рабочих валков клетей № 6-12 НШС-1700 ЛПЦ-1

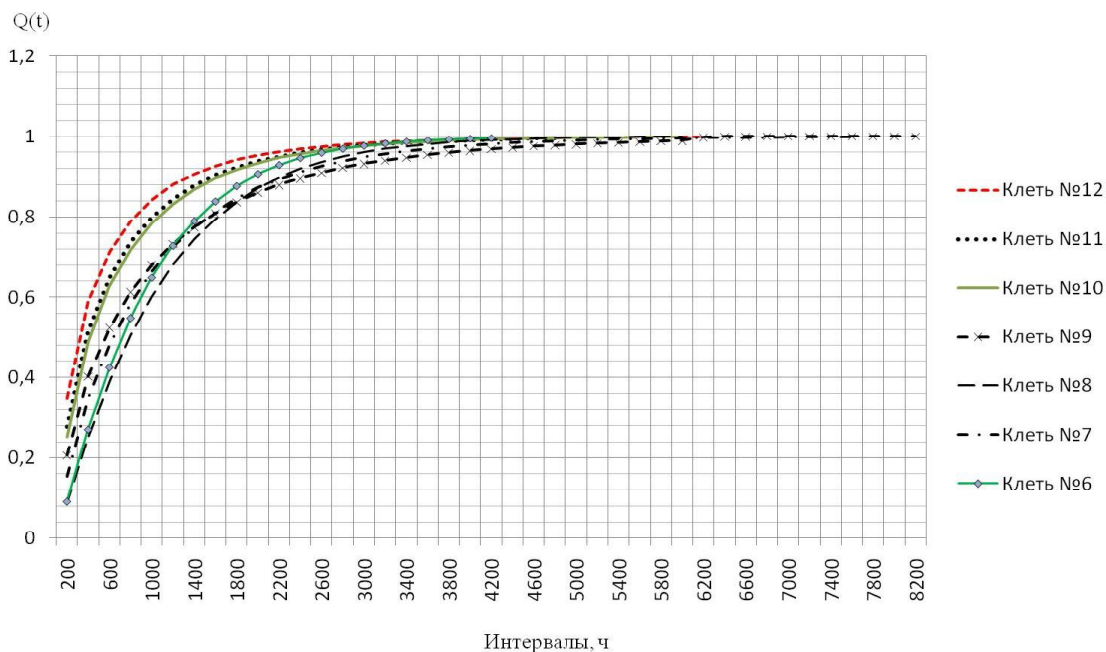


Рисунок 3 – Вероятность отказов  $Q(t)$  подшипников рабочих валков клетей № 6-12 НШС-1700 ЛПЦ-1

Таблица 2 – Результаты расчетов параметров  $a$ ,  $b$  закона Вейбулла и их сопоставления со скоростью прокатки в клетях чистой группы НШС-1700

Номер клетки	Значение вариационного ряда выборки, ч		Размах выборки R, ч	Число отказов n, шт	Средняя наработка до отказа $T_0$ , ч	Параметры закона Вейбулла		Скорость прокатки, м/с*	Частота вращения рабочего валка n, мин <sup>-1</sup>	$[n]**_p$ , мин <sup>-1</sup>	Проверка подшипника по условию быстротходности
	min	max				a	b				
6	33	4015	3982	70	884	864	1,09	1,43	39	500	$n < [n]$
7	22	7568	7546	161	960	813	0,85	2,83	77	500	$n < [n]$
8	44	5841	5797	225	1009	975	1,07	3,73	102	500	$n < [n]$
9	10	8041	8031	369	1003	751	0,73	5,5	150	500	$n < [n]$
10	7	5885	5876	378	704	512	0,76	7,3	199	500	$n < [n]$
11	3	4620	4617	329	651	467	0,73	9	257	500	$n < [n]$
12	3	6149	4146	460	567	357	0,67	10,3	281	500	$n < [n]$

Примечание: \*Скорость взята при прокатке полосы толщиной 30 мм перед клетью №6 и 2,0 мм за клетью № 12; диаметр рабочего валка равен  $D=700$  мм. \*\*Предельная частота вращения подшипника качения № 77888 при консистентной смазке  $[n]=500$  мин<sup>-1</sup>.

Подшипники рабочих валков воспринимают радиальные и осевые нагрузки, возникающие при прокатке. Радиальная нагрузка, регистрируемая месдозами, не превышает паспортную ( $P=18\text{MN}$ ). В то же время частый выход из строя защелок, фиксирующих подушки от осевых смещений, позволяет заключить, что осевые усилия превышают допустимые для подшипника № 77888. Согласно [2] эти осевые усилия возникают в результате перекосов валков в клетях.

Перекосы валков происходит в результате изменения геометрии бочек рабочих и опорных валков, рабочих поверхностей окон станин, подушек рабочих и опорных валков, направляющих планок в станинах, вызванных их износом. В свою очередь станины имеют смещения относительно оси прокатки.

Из вышеуказанного следует, что перекосы валков в клетях приводит к увеличению осевых нагрузок, превышающих допустимые значения, и к перекосу обойм подшипников, вызывающих заклинивание тел качения. Это вызывает рост сил трения скольжения и большим потерям на их преодоление, приводящим к интенсивному нагреву подшипников и последующему их разрушению («сгорание» подшипника). При этом количество выделяемого тепла возрастает с увеличением скорости прокатки. В итоге подшипники, работающие в клетях с большими скоростями, имеют более низкую надежность и большой процент выхода из строя по причине «сгорания». Эта связь четко прослеживается в клетях № 9-№ 12 (рисунки 2, 3 и таблица 2). При этом максимальная частота вращения подшипников валков не превышает их предельного значения (таблица 2).

Отклонения от правил эксплуатации проявляются в виде нарушений правил сборки, монтажа и эксплуатации опор рабочих валков, а также по организационным причинам.

Рассчитанные показатели  $f(t)$ ,  $Q(t)$  (рисунки 2, 3 и

таблица 2) для подшипников рабочих валков клетей № 6-12 можно сравнить, расположив их в порядке уменьшения надежности в следующей последовательности: подшипники валков клетки № 8, затем клетки № 6 и далее – клетей № 7, 9, 10, 11, 12.

С учетом близости расположения кривых  $f(t)$ ,  $Q(t)$  (рисунки 2, 3) относительно друг друга, рассматриваемые подшипники можно разделить на группы: первая – подшипники валков клетей № 6 и 8; вторая – клетей № 7 и 9; третья – клетей № 10, 11, 12. У подшипников первой группы преобладают повреждения в виде выкрошивания поверхностей тел качения и беговых дорожек обойм подшипников (таблица 1). Для подшипников второй и третьей групп клетей с увеличением скорости прокатки наблюдается рост процента повреждений в виде «сгорания» (таблица 1).

В результате вышеизложенного можно заключить, что:

- 1) большая часть выхода из строя (отказов) подшипников рабочих валков аварийная;
- 2) причинами выхода из строя подшипников являются перекосы валков в клетях, вызывающие большие осевые нагрузки и недопустимые перекосы внутренних колец подшипников относительно наружных;
- 3) перекосы валков в клетях вызваны износом рабочих поверхностей рабочих и опорных валков, окон станин, подушек рабочих и опорных валков, направляющих планок в станинах и деформациями шеек валков вследствие их перегрева;
- 4) подшипники рабочих валков клетей № 6 и 8 по сравнению с остальными подшипниками клетей четовой группы НШС-1700 обладают более высокой надежностью, так как работают в условиях стабильной смазки при небольших угловых скоростях;
- 5) надежность подшипников рабочих валков клетей № 9-12 снижается с увеличением скорости прокатки, вследствие их перегрева и «сгорания».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плахтин В.Д. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. М.: Металлургия, 1983. 415 с.
2. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. М.: Металлургия, 1985. 376 с.

**УДН 6217-669.14**

**А.З. ИСАГУЛОВ,  
В.Ю. КУЛИКОВ,  
Е.П. ЩЕРБАКОВА,  
А.С. ТУСУПБЕНОВА**

#### Современные конструкции литейных ковшей

Сталь, выплавляемая в конвертерах, в электродуговых и мартеновских печах, сливается в ковши (сосуды), предназначенные для кратковременного хранения, транспортирования, выпечной обработки, а также для разлива стали в изложницы, промежуточные ковши, литейные формы.

Сталеразливочный ковш представляет собой стальную сварную или клепаную емкость, выложенную изнутри огнеупорным кирпичом или огнеупорной массой и имеющую приспособления для транспортирования, рафинирования и разлива стали.

Технологические функции ковшей значительно расширились. Наряду с общепринятыми процессами раскисления и легирования в ковшах проводят такие металлургические операции, как обработка металла инертными газами и различными порошковыми материалами, жидкими шлаками, вакуумированием, а также при необходимости применяют подогрев или охлаждение расплава.

Ковши различают по конструкции и разливке. По способу транспортирования ковши подразделяют на ручные, монорельсовые, крановые; по способу раз-