

Днепропетровский государственный технический университет, г. Камянское
*ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КРАНОВЫХ КОЛЕС В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Введение. В настоящее время актуальной проблемой в эксплуатации кранового оборудования является увеличение гарантированной продолжительности работоспособности его деталей, узлов, механизмов, в том числе и крановых колес. Основными дефектами ходовых колес являются трещины, износ поверхности катания, износ реборд по толщине, износ отверстия под подшипники.

Анализ опубликованных работ показывает, что существующие методы контроля [1] и методические указания МВ 0.00-7.01-05 [2] не отражают процесса проведения контроля крановых колес и их остаточного ресурса. В работе [3] проведено исследование твердости на поверхности катания крановых колес. Установлены значения коэрцитивной силы на литых колесах до термообработки и после, а также значение твердости на готовых крановых колесах. В статье [4] приведены результаты исследования влияния твердости крановых колес на величину коэрцитивной силы, а также валов и осей в процессе изготовления. Но в работах [2-4] не приведены значения величин коэрцитивной силы и твердости на крановых колесах в процессе эксплуатации. На данный момент отсутствуют четкие методические рекомендации по оценке безопасной эксплуатации крановых колес и прогнозированию их дальнейшей безаварийной работы.

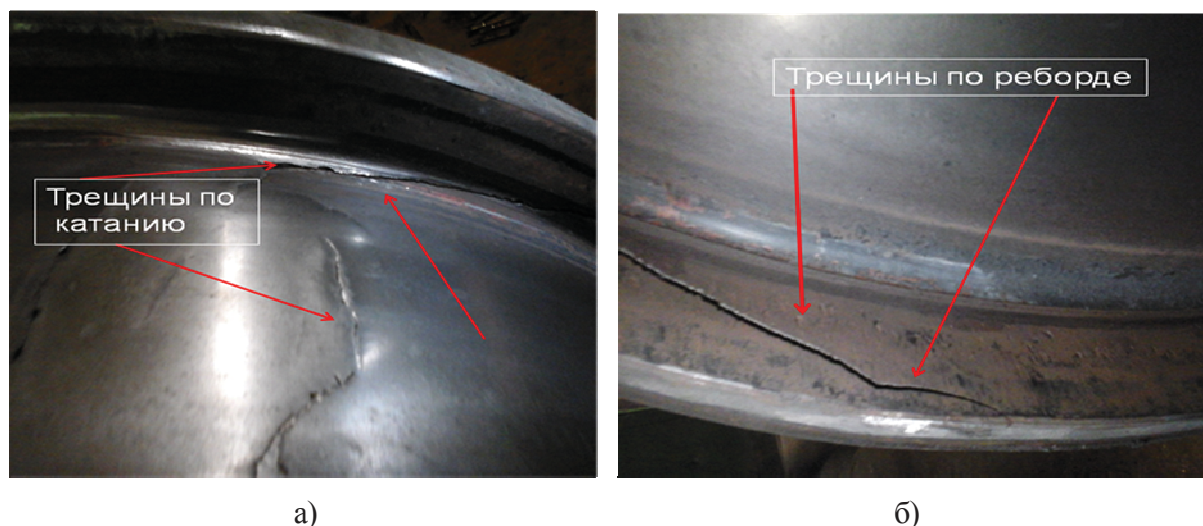
Постановка задачи. Целью исследования является разработка методики контроля крановых колес, находящихся в эксплуатации, для оценки их работоспособности и прогнозирования остаточного ресурса в процессе их дальнейшей эксплуатации.

Результаты исследования. Для оценки уровня накопленных повреждений выбран магнитный метод (коэрцитивная сила Нс) как один из наиболее широко используемых методов неразрушающего контроля структуры и механических свойств деталей и изделий из ферромагнитных материалов. Коэрцитивная сила Нс является одной из основных магнитных характеристик сталей и сплавов и служит определяющим показателем напряженности металла при его упругих деформациях.

В работе исследованы крановые колеса на электромостовых кранах действующего оборудования. При этом проведен контроль новых колес, только поступивших в цех, колес, находящихся в эксплуатации; а также колес с трещинами (рис.1). В результате исследования выполнено более 90 измерений коэрцитивной силы Нс и твердости НВ на новых колесах, 240 контрольных измерений Нс и НВ по катанию и ребордам на действующих электромостовых кранах, а также выполнен тщательный контроль колес с раскрывшимися трещинами как по катанию, так и по ребордам. Контроль проводится магнитным структуроскопом КРМ-Ц-К2М и переносным динамическим твердомером ТДМ-2.

Данное исследование является продолжением работ [3-4] по контролю крановых колес, а также работ [6-7] по изучению влияния структуры на коэрцитивную силу для армо-железа и эвтектоидной стали У8. Новые крановые колеса, которые поступали в цех для монтажа, изготовлены по ГОСТ 28648-90 из стали 65Г [5]. Произведен контроль твердости и величины коэрцитивной силы по катанию колеса.

Для систематизации, статистической обработки и анализа полученного массива данных по твердости и по коэрцитивной силе разработана программа, представленная на рис.2.



а) – по катанию; б) – по реборде

Рисунок 1 – Трещины на крановых колесах



Рисунок 2 – Образец обработки результатов контроля по колесу № 7

В производственных условиях получены результаты величины коэрцитивной силы H_c и значений твердости по НВ крановых колес на примере крана № 35 (табл. 1).

Таблица 1 – Расчетные данные по крановым колесам крана № 35

№	Дата установки (год)	Срок эксплуатации	Количество снятых значений		Среднее значение коэрцитивной силы (H_c , А/см)		Среднее значение твердости по Бринеллю (НВ, ед.)
			Вдоль	Поперек	Вдоль	Поперек	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2016	1	8	8	6,27	6,5	339
2	2010	7	12	14	6,41	6,77	350
3	2015	2	14	7	6,6	6,68	346
4	1993	24	17	7	7,2	8,28	381
5	2006	11	14	12	8,26	8,77	338
6	1993	24	17	15	7,15	7,66	360

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
7	2015	2	16	16	9,01	9,54	417
8	1993	24	16	11	8,3	8,67	385
9	1993	24	13	13	7,11	7,5	360
10	1993	24	12	8	6,05	6,22	334
11	1993	24	12	14	7,59	7,73	351
12	1993	24	14	17	7,8	8,08	350
13	1993	24	13	15	7,93	8,3	393
14	1993	24	14	15	8,02	8,33	395
15	2016	1	14	13	7,55	8,1	351
16	1993	24	15	14	7,63	7,89	362

В результате контрольных измерений установлено, что крановое колесо № 7 имеет высокие значения по величине коэрцитивной силы $H_c = 9,5$ А/см и твердости $HВ = 417$. Поэтому данное колесо необходимо выводить из эксплуатации.

По результатам контроля построен график зависимости значений твердости и коэрцитивной силы на примере крана № 35.

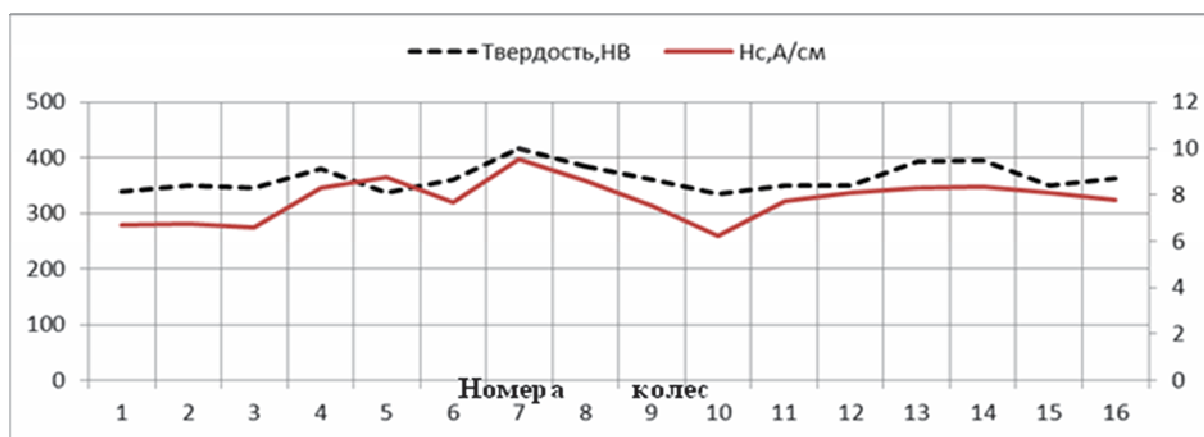


Рисунок 3 – График распределения значений коэрцитивной силы и твердости

Проведены контрольные измерения, обработаны и проанализированы их значения для разрушенного колеса крана № 35 (табл.2). Образование трещины происходит из центра под ободом разветвлением в противоположные стороны вдоль катания с выходом на поверхность катания и в зону реборды.

Таблица 2 – Контрольные измерения по разрушенному колесу крана

1	Значения коэрцитивной силы по катанию (H_c)	Среднее значение H_c
	2	3
Значения вдоль катания	9,0; 9,2; 8,8; 8,9; 8,9; 9,1; 9,1; 9,1; 9,3; 9,1; 9,0; 9,0; 8,9; 9,7; 9,2; 9,6; 9,7; 9,2; 8,9; 9,0; 8,9; 8,8; 8,8; 9,0; 9,6; 9,2; 9,1; 9,1	9,11
Значения поперек катания	9,2; 9,5; 9,6; 9,7; 9,6; 9,6; 9,8; 9,7; 9,7; 9,8; 9,9; 9,7; 9,9; 9,7; 9,6; 9,5; 9,7; 9,7; 9,5; 9,1; 9,7; 9,6; 9,6; 9,5; 9,3; 9,6; 9,5; 9,4; 9,4; 9,6	9,59

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Значения поперек трещин	10,4;11,0;11,0;9,5;9,4;9,0;8,8;10,8;10,5;10,2;11,0;10,2;11,1;10,4;10,7;10,8	10,3
Зона трещины	11,6;11,6;11,5;9,9;10,1;11,6;11,5	11,11
Реборда от трещины	8,0;8,0;8,2;7,5;7,3;7,9;9,1;9,2;10,8;9,0;9,5;9,0	8,6
Зона трещины	8,4;11,4;9,6;11,0;9,4;9,2;9,7;9,4;10,5;10,4	9,9
Вторая сторона реборды	9,6;10,2;10,0;10,9;10,2;10,9;9,6;9,6;9,0;9,1;10,1	9,92
Зона трещины	12,4;10,4;10,0;10,3;10,2	10,66

Для анализа результатов измерений экспериментальные выборочные значения распределены по кластерам и определена их надежность. Вероятность того, что за время T не произойдет ни одного выброса (максимальное напряжение не превысит несущей способности), вычисляется по формуле

$$P = H = \exp \left[- \int_0^T \int_0^{\infty} qf(q_{kr}, \dot{q}/t) dq \right], \quad (1)$$

где $q(t)$ – действующая обобщенная нагрузка; \dot{q} – ее производная по времени; q_{kr} – критическое значение действующей обобщенной нагрузки.

Решая это уравнение с учетом того, что $H = H_{заданное}$, получен необходимый уровень q_{kr} .

Вычислены интервалы для математического ожидания с надежностью $\gamma = 0,95$ (95%) отклонений по формуле

$$x_{cp} - t_{\gamma} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < M(x) < x_{cp} + t_{\gamma} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где x_{cp} – среднее значение коэрцитивной силы, А/см; σ – среднее квадратическое отклонение, А/см; t_{γ} – среднее значение аргумента функции Лапласа; n – количество снятых значений; $M(x)$ – математическое ожидание.

Графическое представление полученных результатов, обработка данных и расчет произведены в системе символьной математики MathCad с применением вложенных интерполяционных формул.

Получены следующие значения интервалов надежности по коэрцитивной силе и твердости для крановых колес из стали 65Г диаметром 800-900 мм:

- для новых колес $H_c = 5,5 \div 7,5$ А/см; $H_B = 320 \div 370$ ед.;
- для колес, находящихся в эксплуатации (рабочий режим работы), $H_c = 7,5 \div 9,0$ А/см; $H_B = 370 \div 390$ ед.;
- для колес, находящихся в напряженно-деформированном состоянии, $H_c = 9,0 \div 10$ А/см; $H_B = 400 \div 420$ ед., что свидетельствует о необходимости демонтажа с последующей реновацией кранового колеса в условиях термомеханического отделения по специально разработанной программе.

Выводы. Разработана методика контроля крановых колес, находящихся в эксплуатации. Определены интервалы значений по коэрцитивной силе H_c для безопасной

эксплуатации колес с помощью математических формулы для определения интервала надежности и прогнозирования дальнейшей безопасной эксплуатации кранового колеса. При этом:

1 – экспериментальным путем получены значения H_c предельно допустимого диапазона для стали 65Г.

2 – показано, что коэрцитивная сила является информативным параметром для оценки уровня накопленных усталостных повреждений. При этом простота измерения коэрцитивной силы в производственных условиях позволяет использовать ее для оценки технического состояния оборудования.

3 – применение коэрцитивной силы H_c в качестве инструмента контроля позволяет оценивать напряженно-деформированное состояние как в процессе эксплуатации, так и при экспертном обследовании грузоподъемного механизма.

Предложенная технология применения магнитного коэрцитиметрического метода контроля и контроля твердости позволяет оценить работоспособность крановых колес и прогнозировать остаточный ресурс в процессе его дальнейшей эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неразрушающий контроль: справочник в 8 т. / под общ. ред. В.В.Клюева. – Т.6: в 3кн. Кн. 1: Магнитные методы контроля / В.В.Клюев, В.Ф.Мужицкий, Э.С.Горкунов, В.Е.Щербинин. – 2е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 848с.
2. Методические указания по проведению магнитного контроля напряженно-деформированного состояния металлоконструкций подъемных сооружений и определения их остаточного ресурса: МВ 0.00-7.01-05. – Харьков, 2005. – 77с.
3. Попов В.А. Практика выявления колес мостовых кранов с недопустимым уровнем остаточных напряжений / В.А.Попов, Г.Я.Безлюдько, Е.И.Елкина // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2002. – №9. – С.27-29.
4. Григоров О.В. Контроль напряженно-деформированного состояния крановых осей валов и осей / О.В.Григоров, С.О.Губский // Вестник ХНАДУ. –2014. – Выпуск 65-66. – С.139-142.
5. Колеса крановые. Технические условия: ГОСТ 28648-90. – [Дата введения 01.04.92.]. – М.: Стандартинформ, 2005. – 8с. – (Межгосударственный стандарт).
6. Большаков В.И. Влияние температуры отжига на формирование специальных границ в армко-железе / В.И.Большаков, В.И.Сухомлин, В.И.Волох // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА». – 2015. – Вып. 80. – С.67-70.
7. Большаков В.И. Влияние дисперсности перлита на магнитные свойства эвтектоидной стали / В.И.Большаков, В.И.Сухомлин, Волох В.И. // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА. – 2013. – Вып. 67. – С.273-278.

Поступила в редколлегию 26.04.2017.