

УДК 620.179.16

ДЕФЕКТОСКОПИЯ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ

В. И. ПУДОВ, А. С. СОБОЛЕВ

НИУ «Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН»

Екатеринбург, Россия

UDC 620.179.16

DEFECTSOSCOPY OF STEEL CANANTS

V. I. PUDOV, A. S. SOBOLEV

Аннотация

Рассмотрена возможность оптимизации настроечных параметров магнитного дефектоскопа, предназначенного для контроля стальных канатов, с помощью имитационных образцов, соответствующих 10, 15, 20 и 25% износу канатов.

Ключевые слова:

контроль канатов, ферромагнитные имитаторы, настройка.

Abstract

The possibility of optimizing the tuning parameters of a magnetic flaw detector intended for controlling steel ropes is considered using imitators samples corresponding to 10, 15, 20 and 25% rope wear.

Key words:

rope control, ferromagnetic imitators, tuning, flaw detector.

Стальные канаты и тросы подвержены многократным статическим и динамическим нагрузкам. Наиболее перспективное направление их контроля связано с магнитным методом. Например, с разработкой образцов, имитирующих разную степень износа канатов. Такой износ обеспечивается изменением площади поперечного сечения образцов. В частности, при проверке магнитных дефектоскопов «Интрос» используют образцы ИК-МДК в виде набора из стальных калиброванных проволок с разной площадью поперечного сечения [1]. Они изготовлены из материала соответствующего материалу и типоразмерам конкретных канатов.

Однако такие образцы исследуются в статическом состоянии и не соответствуют в полной мере изменениям свойств материала канатов в условиях эксплуатации.

Предлагаемое в работе решение связано с разработкой комплектов имитационных образцов в виде стандартных образцов (СО), полученных термообработкой их материала по специальному режиму. СО предназначены для настройки и проверки магнитных дефектоскопов типа УДК-3, используемые для контроля износа стальных круглых, плоских и резинотросовых канатов.

В УДК-3 намагничивание стальных образцов осуществляется в катушке его датчика переменным магнитным полем частотой 200 Гц и раз-

ной амплитудой (например, 50 А/м для плоских и резинотросовых канатов, 160 А/м для круглых стальных канатов). Их магнитное поле рассеяния, воздействуя на измерительную катушку датчика, формирует магнитный поток ($\Phi = \Phi_a \sin(2\pi f_a t)$, где Φ_a и f_a – соответственно, амплитуда и частота переменного магнитного потока; t – текущее время), который индуцирует регистрируемую ЭДС ($\varepsilon = -d\Phi/dt$), передаваемую на индикаторную шкалу, показывающую износ образца в процентах. Например, для СО амплитуда Φ_a зависит от параметров образца и переменного магнитного поля ($\Phi_a \sim \mu_0 \mu_a H_a S$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; μ_a – амплитудная магнитная проницаемость образца; H_a – амплитуда напряженности переменного магнитного поля; S – площадь поперечного сечения образца).

Разработка СО с существенно меньшими μ_a по сравнению с аналогичными для контролируемых канатов μ_a^k значительно повышает требования к характеристикам дефектоскопов, которые после настройки по этим образцам приобретут значительный запас по чувствительности и более стабильный режим работы. Например, используемые для канатов стали 6Х19, 6Х30, 18Х19 имеют разброс по μ_a^k в интервале 30–60 ед. [2]. В этом случае можно ограничиться применением СО с μ_a на уровне 20 ед. СИ, в результате создается запас по чувствительности не менее чем в 1,5 раз, что в последующем позволяет практически исключить зависимость результатов контроля от сложных условий эксплуатации и влияния магнитных свойств применяемых сталей.

Для СО выбрана инструментальная сталь марки У8. В образцах использовали прутки, для которых μ_a составляла 40–45 ед. СИ. Они имели диаметры 1 и 5 мм, а длину – 1200 мм, которая превышала в 3–4 раза линейные размеры рабочего объема датчиков УДК-3, что позволило исключить влияния краевых эффектов. При термообработке прутков по специальному режиму их μ_a была уменьшена примерно в 2 раза.

Исследование магнитных характеристик прутков проводили на базе установки УВТ 82-А-93 (аттестационное свидетельство №58-06/262 от 10.07.2006 г.) и разработанного устройства со специальной магнитной системой, имитирующего режим работы дефектоскопа. Оно состояло из соленоида 40x740 мм. Расчет его постоянной показал значение $k_c = 790$ 1/м.

Через соленоид пропускали от генератора тока, с последующим усилением, переменный ток с частотой 200 Гц, который формировал воздействующее на прутки магнитное поле амплитудой 50 и 160 А/м. В результате воздействия магнитного поля прутков на измерительную обмотку, в ней формировался магнитный поток, который индуцировал регистрируемую ЭДС, соответствующую изменению потока от потери суммарной площади поперечного сечения прутков (то есть от их износа).

Для создания СО отбирали прутки с многократным измерением микрометром их диаметров (d) и определением средних значений d_c , а также определением среднего значения площади поперечного сечения прутка

$$S_c = \pi \cdot (d_c^2) / 4 = \pi \cdot (\sum_i^n \sum_j^m d_{ij})^2 / 4, \quad (1)$$

где d_{ij} – i -ое значение диаметра в j -ом месте прутка; n, m – соответственно, число измерений диаметра в данном месте прутка и количество мест измерений по длине прутка (n, m должно быть не менее 3).

При разных значениях ЭДС, измеряли вольтметром эффективное напряжение (U_3) на измерительной обмотке и оценивали μ_a прутка

$$\mu_a = \frac{U_3}{\mu_0 S_c dH/dt}, \quad (2)$$

где H – напряженность переменного магнитного поля, формируемого прутком.

В результате было отобрано более 100 прутков с μ_a от 19 до 21 ед. СИ. Из них сформировали 5 образцов в виде пучков. Образцы имитировали круглые канаты без износа сечения (0 %) и 10 %, 15 %, 20 % и 25 % износ.

Площади среднего сечения пучков образца S_c^0 определяли по формуле

$$S_c^0 = N \cdot S_c, \quad (3)$$

где N – число прутков в пучке.

Для этих 5 образцов определены U_3 при двух амплитудах переменного магнитного поля $H_a=50$ и 160 А/м. В результате были получены СО для трех типов стальных канатов.

В табл. 1 приведены данные о комплектах СО для круглых, плоских и резиноканатов стальных канатов. Из неё видно, что, комбинируя прутки по их числу и диаметру можно получить необходимые площади поперечного сечения СО отражающих износ всех трех типов канатов.

При исследовании уже СО из пучка прутков определение амплитуды переменного магнитного поля H_a^c производили по формуле

$$H_a^c = k_c \cdot I = k_c \cdot [(2^{1/2} U_3^c / 1,111) / R], \quad (4)$$

где I – ток в намагничивающей обмотке; R – величина сопротивления магазина Р4830/1 ($R=10$ Ом); U_3^c – измеряемое вольтметром напряжение на клеммах магазина Р4830/1; 1,111 – коэффициент пересчета U_3^c в среднее напряжение U_c).

Табл. 1. Комплекты СО для круглых, плоских и резинотросовых стальных канатов

Тип канатов	Обозначение комплектов СО	Число прутков в СО		Σ площадь поперечного сечения СО, мм ²	Уменьшение сечения СО (имитация износа), %
		d = 5мм	d = 1мм		
Круглые	МП1-1	20	-	392,8	1,000
	МП1-2	18	1	354,2	0,902
	МП1-3	17	1	334,6	0,852
	МП1-4	16	1	315,0	0,802
	МП1-5	15	-	294,5	0,750
Плоские	МП2-1	38	-	746,1	1,000
	МП2-2	34	-	667,6	0,895
	МП2-3	32	-	628,3	0,842
	МП2-4	30	-	589,1	0,790
	МП2-5	28	-	559,6	0,736
Резинотросовые	МП3-1	52	-	1021,0	1,000
	МП3-2	47	-	922,8	0,904
	МП3-3	44	-	863,9	0,846
	МП3-4	42	-	824,7	0,808
	МП3-5	39	-	765,7	0,750

Для каждой амплитуды H_a^c (4) определяли по 10 наблюдениям среднюю величину амплитуды переменного магнитного потока Φ_a^c [3]

$$\Phi_a^c = U_3^c / 4,444 \cdot W_2 \cdot f, \quad (5)$$

где W_2 – число витков измерительной катушки; f – частота переменного намагничивающего магнитного поля.

С другой стороны из (2) следует, что U_3^c связано с площадью поперечного сечения образца. Тогда согласно (5) и (2) отношение амплитуд Φ_a^{c*} переменных магнитных потоков для образцов с уменьшенным поперечным сечением S_c^{o*} к амплитуде Φ_a^c образца с исходным сечением S_c^o может быть записано в виде

$$\Phi_a^{c*} / \Phi_a^c = U_3^{c*} / U_3^c, \sim S_c^{o*} / S_c^o, \quad (6)$$

где U_3^{c*} , U_3^c – эффективные напряжения, соответственно, для образцов с уменьшенным S_c^{o*} и исходным S_c^o поперечными сечениями.

В табл. 2. приведены результаты исследований комплектов СО. Видно что отношение амплитуд переменных магнитных потоков для СО с износом к амплитуде исходных СО без износа, находится в пропорциональной зависимости с отношением исправленных средних значений напряжений U_3^{c**} / U_3^c , связанных с площадями сечений СО.

Табл. 2. Физические параметры комплектов СО

Обозначение комплектов СО	Средние значения параметров намагничивающего поля				Средние значения U_3^{c**} , мВ	Амплитуда магнитного потока Φ_a^c , мкВб	Отношения амплитуд СО Φ_a^{c*}/Φ_a^c от. ед.
	160 А/м		50 А/м				
	H_a^c , А/м	f, Гц	H_a^c , А/м	f, Гц			
МП 1-1	160,2	200,2	-	-	68,8	77,5	1,0
МП 1-2	160,0	199,8	-	-	61,7	69,5	0,897
МП 1-3	159,8	200,0	-	-	58,5	66,0	0,851
МП 1-4	160,1	200,3	-	-	54,7	61,6	0,795
МП 1-5	159,9	200,0	-	-	51,2	57,7	0,744
МП 2-1	-	-	50,2	199,9	40,3	45,3	1,0
МП 2-2	-	-	50,3	200,2	35,8	40,2	0,889
МП 2-3	-	-	49,9	200,0	33,7	37,9	0,837
МП 2-4	-	-	50,0	198,8	31,8	35,6	0,788
МП 2-5	-	-	50,1	200,1	29,8	33,4	0,739
МП 3-1	-	-	49,8	200,1	55,1	62,0	1,0
МП 3-2	-	-	50,1	200,0	49,6	55,8	0,900
МП 3-3	-	-	50,0	200,2	46,6	52,4	0,845
МП 3-4	-	-	50,2	200,1	44,5	50,0	0,807
МП 3-5	-	-	49,9	199,8	41,4	46,6	0,751

*Исправленные значения U_3^{c**} получены введением вышеприведенных поправок СО МП-1 для круглых канатов; СО МП-2 для плоских канатов; СО МП-3 для резинотросовых канатов.

Исправленные значения U_3^{c**} получены введением 2-х поправок. Первая поправка со знаком минус обусловлена меньшим единицы коэффициентом заполнения СО с поперечным сечением S_c^o площади внутреннего поперечного сечения соленоида (S_c^B) намагничивающей системы и оценивается по формуле

$$\Delta U_1 = -U_3^c \cdot (1 - (S_c^o / S_c^B)). \quad (7)$$

Из (6) следует, что с уменьшением S_c^o поправка по абсолютному значению возрастает.

Вторая поправка обусловлена уменьшением коэффициента размагничивания при снижении площади (S_c^o) СО при его одинаковой длине, определяемой длиной соленоида (l_s). Она представлена в виде

$$\Delta U_2 = -(1 - K) \cdot U_3^c, \quad (8)$$

где K – поправочный коэффициент, зависящий от $\lambda = l_s/2(S_c^o/\pi)^{1/2}$ [4–6].

Зависимость поправочного коэффициента (K) от λ приведена на рис.1.

Из рис. 1 видно, что с ростом λ , то есть при уменьшении S_c^o , K отклоняется от единицы в меньшую сторону. Это приводит к завышению U_3^{c**} по отношению значению U_3^c для исходного (не уменьшенного) значения S_c^o . Поэтому согласно (8) эта поправка вводится со знаком минус.

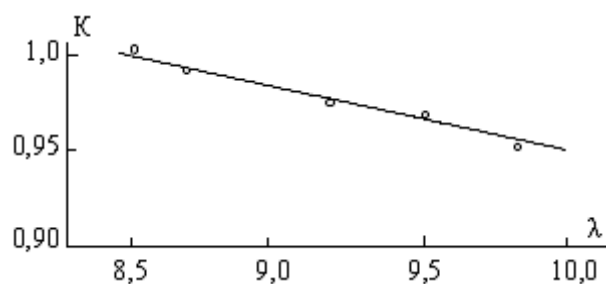


Рис. 1. Зависимость поправочного коэффициента K от параметра λ

Эффективность применения разработанных комплектов стандартных образцов была подтверждена испытанием дефектоскопов УДК-3 в практических условиях эксплуатации канатов в составе шахтного оборудования [7–9].

Таким образом, магнитный контроль износа стальных канатов посредством дефектоскопов типа УДК-3, калиброванных с помощью разработанных СО существенно повышает возможности магнитного метода дефектоскопии при контроле стальных канатов.

Работа выполнена по бюджетной теме «Диагностика», №01201463329.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов подъемных сооружений. – М. : Изд. СП «Интрон Плюс», 2000. – 19 с.
2. Марочник сталей и сплавов / Под ред.. В. Г. Сорокина. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
3. **Чечерников, В. И.** Магнитные измерения / В. И. Чечерников. – М. : Изд. МГУ, 1963. – 285 с.
4. **Янус, Р. И.** Магнитная дефектоскопия / Р. И. Янус. – М.-Л. : ОГИЗ Гостехиздат, 1946. – 171 с.
5. **Соболев, А. С.** О возможности оптимизации настроечных параметров магнитных дефектоскопов / А. С. Соболев, В. И. Пудов, В. П. Малюк // Дефектоскопия. – 2009. – № 12. – С. 83–87.
6. **Пудов, В. И.** Измерение физических параметров образцов-имитаторов / В. И. Пудов, А. С. Соболев, С. В. Воронина // Измерительная техника. – 2010. – № 5. – С. 54–57.
7. **Пат. № 96979 РФ, МПК8 G01N 27/82.** Устройство для калибровки магнитных дефектоскопов / В. И Пудов, А. С. Соболев ; заявитель и патентообладатель ИФМ УРО РАН. – Бюл. изобр. №23. – 2 с.
8. **Пат. №2455635 РФ, МПК8 G01N 27/82.** Способ изготовления имитаторов потери сечения стальных канатов / В. И. Пудов, А. С. Соболев ; заявитель и патентообладатель ИФМ УРО РАН. – Бюл. изобр. №19. – 2 с.
9. **Соболев, А. С.** Повышение эффективности магнитного контроля стальных шахтных канатов / А. С. Соболев, В. И. Пудов // Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций : тез. докл. VIII Российской науч.-техн. конф. 2014. – Екатеринбург : ООО Издательство УМЦ УПИ, 2014. – 202 с.

E-mail: pudov@imp.uran.ru