

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ

Пудов В. И., Соболев А. С.

*Институт физики металлов УрО РАН,
Екатеринбург*

Стальные канаты применяются в ответственных технических устройствах и подвержены многократным интенсивным, статическим и динамическим нагрузкам. Поэтому определение их физико-механического состояния является весьма актуальной задачей. На данный момент времени наиболее перспективный метод систематического контроля канатов и тросов связан с магнитной дефектоскопией. Обеспечение надежности и достоверности дефектоскопической аппаратуры в значительной степени зависит от совершенствования средств метрологического обеспечения.

В качестве таких средств разрабатывают имитаторы износа стальных канатов. Имитация износа канатов обеспечивается изменением площади поперечного сечения образцов. В частности, при проверке магнитных дефектоскопов типа «Интрос» используют имитаторы ИК-МДК в виде набора из стальных калиброванных проволок с разной площадью поперечного сечения и из материала, соответствующего материалу контролируемых канатов [1,2]. Однако данное решение связано с изготовлением большого количества имитаторов, соответствующих материалу и типоразмерам конкретных контролируемых канатов, а это приводит к существенным производственным затратам. Кроме этого, такие имитаторы исследуются в статическом состоянии и не соответствуют в полной мере изменениям свойств материала канатов в условиях эксплуатации.

В данной работе предложено решение, связанное с разработкой комплектов имитаторов в виде стандартных образцов (СО), полученных в результате термообработки их материала по специальному режиму. Комплекты предназначены для настройки и проверки стандартизированных магнитных дефектоскопов типа УДК-3, используемых для контроля износа круглых, плоских и резинотросовых стальных канатов горношахтного оборудования. В дефектоскопах УДК-3 применен магнитный метод контроля, состоящий в регистрации электродвижущей силы, наведенной в приемной катушке его датчика переменным магнитным потоком, излучаемым намагниченным материалом канатов. Намагничивание канатов осуществляется в намагничивающей катушке датчика УДК-3 переменным магнитным полем частотой 200 Гц и амплитудой 160 А/м для круглых канатов и 50 А/м для плоских и резинотросовых канатов.

При разработке СО мы исходили из того, что амплитуда Φ_A регистрируемого переменного магнитного потока, излучаемого материалом СО и канатов, прямо пропорциональна, соответственно, их амплитудной магнитной проницаемости μ_m^A и μ_c^A . Поэтому применением материала СО с μ_m^A , значительно меньшими, чем значения μ_c^A , можно получить необходимый запас по чувствительности при контроле канатов с помощью УДК-3 и, тем самым, практически исключить зависимость результатов контроля от марок стали, например, таких широко применяемых для изготовления стальных канатов, как 6Х19, 6Х30, 18Х19 [3]. Такой подход открывает возможность разрабатывать более универсальные СО, что существенно сокращает их количество и затраты на создание. Исследования показали, что μ_c^A стали практически всех контролируемых с помощью УДК-3 канатов лежит в интервале 30–60 ед. СИ. Поэтому можно ограничиться получением материала СО с μ_m^A на уровне 20 ед. СИ, что создает запас по чувствительности не менее 1,5 раз. В результате выполненных поисковых работ в качестве исходного материала для создания материала СО была выбрана высокоуглеродистая ин-

струментальная сталь марки У8 в виде прутков, для которых μ_c^A составила 40–45 ед. СИ. Диаметр прутков составлял от 1 до 5 мм, а длина ~ 1200 мм, что превышало линейные размеры рабочего объема датчиков УДК-3 в 3–4 раза и обеспечивало практически полное исключение влияния краевых эффектов. После термообработки прутков по специальному режиму их μ_c^A была уменьшена примерно в 2 раза.

Экспериментальные исследования

Исследование магнитных характеристик и отбор материала прутков проводили на базе аттестованной установки типа УВТ 82-А-93 при помощи подсоединяемого к ней специального устройства. Магнитная система устройства представляет собой трубу из немагнитного материала с наружным диаметром 40 мм и общей длиной 740 мм, на которую намотаны намагничивающая и измерительная катушки. Расчетная постоянная намагничивающей катушки $k_n = 790$ 1/м. Переменный магнитный поток, излучаемый помещаемыми в трубу прутками, создавали за счет воздействия на них переменным магнитным полем с амплитудой 50 и 160 А/м, которое формировали пропусканием переменного тока частотой 200 Гц от генератора ГЗ-122 с последующим его усилением усилителем У7-5. Контроль амплитуд переменного тока осуществляли при помощи измерительного магазина типа Р 4830/1 с известным сопротивлением и подсоединенного к ней при помощи ключа вольметра В7-34.

Отбор необходимых прутков производили следующим образом. Были измерены при помощи микрометра диаметры и определены их средние значения d_{cp} , по которым были определены средние значения площади поперечного сечения прутков по формуле

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

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

Затем по величине амплитуды наведенного в измерительной катушке напряжения $U_{3\phi}$, измеряемого посредством вольметра В7-34, подключаемого к измерительной катушке при помощи переключателей, оценивали μ_c^A по формуле

$$\mu_c^A = U_{3\phi} / (\mu_0 \cdot S_{пр}^{cp} \cdot dH/dt), \quad (2)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная, H – напряженность переменного магнитного поля, излучаемого материалом СО.

В результате были отобраны прутки со значениями μ_c^A от 19 до 21 ед. СИ, что было вполне приемлемо для решения поставленной задачи. В общей сложности, было отобрано более 100 таких прутков. Из этих прутков были сформированы 5 образцов в виде пучков (материал СО), имитирующих, применительно к круглым канатам, исходное (без износа) сечение и уменьшенные примерно на 10, 15, 20 и 25% относительно исходного сечения.

Площади среднего поперечного сечения пучков $S_{пуч}^{cp}$ определяли по формуле

$$S_{пуч}^{cp} = N \cdot S_{пр}^{cp}, \quad (3)$$

где N – число прутков в пучке

Кроме этого, дополнительно были отобраны 10 прутков вроссыпь, то есть без формирования из них пучка.

Для этих 5 образцов, а также индивидуально для 10 прутков из россыпи были с помощью устройства дополнительно определены $U_{3\phi}$ при двух амплитудах переменного магнитного поля $H_A = 50$ и 160 А/м. Таким способом был получен материал СО-имитаторов вышеуказанных трех типов стальных канатов.

Общие сведения о формировании пучков и результаты определения суммарной площади поперечного сечения и его уменьшения (износа) для материала СО - имитаторов состояния круглых, плоских и резинотросовых канатов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры поперечного сечения материала стандартных образцов (СО)

Тип канатов	Обозначение комплекта СО	Число прутков в материале СО		Σ площадь поперечного сечения СО мм ²	Уменьшение сечения СО (имитация износа), %
		$d = 5\text{мм}$	$d = 1\text{мм}$		
Круглые	КГСО МП-1				
	МП1-1	20	-	392,8	1
	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	КГСО МП-2				
	МП2-1	38	-	746,1	1
	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	КГСО МП-3				
	МП3-1	52	-	1021,0	1
	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

Из таблицы видно, что комбинацией прутков по числу и диаметрам могут быть получены необходимые площади поперечного сечения пучков для всех трех типов канатов. Причем отношения этих площадей соответствует износу 0% (исходный образец) и примерно 10, 15, 20 и 25% для образцов с измененным сечением.

Исследование материала СО выполняли следующим образом. Каждый из пяти образцов помещали в трубу намагничивающей системы и намагничивали переменным магнитным полем при амплитудах 50 и 160 А/м на частоте 200 Гц, создаваемым током от генератора ГЗ-122, подаваемым через усилитель У7-5 в витки намагничивающей катушки. Амплитуды H_A намагничивающего переменного магнитного поля составляли 160 А/м для образцов-имитаторов круглых канатов и 50 А/м – для плоских и резинотросовых канатов, что соответствует условиям применения УДК-3.

Определение амплитуды H_A производили по формуле

$$H_A = k_n I_n = k_n \cdot (U_A/R) = k_n \cdot (2^{1/2} U_{\text{эф}}/R) = k_n \cdot (2^{1/2} U_{\text{эф}}/1,111 \cdot R), \quad (4)$$

где I_n – ток в намагничивающей катушке, R – величина сопротивления магазина Р4830/1 ($R = 10$ Ом), U_A – амплитуда переменного напряжения; $U_{\text{эф}}$ – измеряемое вольтметром напряжение на клеммах магазина Р4830/1; 1,111 – коэффициент пересчета $U_{\text{эф}}$ в среднее напряжение на $U_{\text{эф}}$.

Для каждой амплитуды H_A (согласно (4)) определяли по 10 наблюдениям среднюю величину амплитуды переменного магнитного потока, создаваемого поперечным сечением S_n намагниченных прутков, по формуле [4]:

$$\Phi_A = U_{\text{эф}} / 4,444 \cdot W_2 f, \quad (5)$$

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

С другой стороны, из (2) следует, что $U_{\text{эф}}$ связано с площадью поперечного сечения $S_{\text{н}}$ материала. Тогда, согласно (5) и (2), отношение амплитуд Φ_A^1 переменных магнитных потоков для образцов с уменьшенным поперечным сечением $S_{\text{обр}}^1$ к амплитуде Φ_A образца с исходным сечением $S_{\text{обр}}$ может быть записано в виде

$$\Phi_A^1 / \Phi_A = U_{\text{эф}}^1 / U_{\text{эф}} \sim S_{\text{обр}}^1 / S_{\text{обр}}, \quad (6)$$

где $U_{\text{эф}}^1$, $U_{\text{эф}}$ – эффективные напряжения, соответственно, для образцов с уменьшенным $S_{\text{обр}}^1$ и исходным $S_{\text{обр}}$ поперечными сечениями.

Результаты исследований образцов приведены в табл. 2. Из этой таблицы следует, что отношение амплитуд переменных магнитных потоков для образцов – имитаторов износа к амплитуде исходных образцов (без износа) находится в пропорциональной зависимости с отношением соответствующих исправленных средних значений напряжений $*U_{\text{эф}}^1 / *U_{\text{эф}}$, связанных с площадями поперечных сечений аттестуемых образцов.

Исправленные значения $*U_{\text{эф}}$ получены введением двух поправок. Первая поправка со знаком минус обусловлена меньшим коэффициентом заполнения материалом образца с поперечным сечением $S_{\text{обр}}$ площади внутреннего поперечного сечения трубы $S_{\text{тр}}$ намагничивающей системы и оценивается по формуле

$$\Delta U_1 = -U_{\text{эф}} \cdot (1 - (S_{\text{обр}} / S_{\text{тр}})). \quad (7)$$

Из формулы (6) следует, что с уменьшением $S_{\text{обр}}$ поправка по абсолютному значению возрастает.

Вторая поправка обусловлена уменьшением коэффициента размагничивания при снижении $S_{\text{обр}}$ СО при одинаковой части длины образцов, определяемой длиной l_k намагничивающей катушки. Данная поправка может быть представлена в виде

$$\Delta U_2 = -(1 - K_n) \cdot U_{\text{эф}}, \quad (8)$$

где K_n – поправочный коэффициент, зависящий от параметра $\lambda = l_k / 2(S_{\text{обр}} / \pi)^{1/2}$ [5].

Зависимость K_n от λ приведена на рис. 1.

Из этого рисунка видно, что с ростом λ , то есть при уменьшении $S_{\text{обр}}$, K_n снижается. Это приводит к некоторому завышению $U_{\text{эф}}$ по отношению к значению $U_{\text{эф}}$ для исходного (не уменьшенного) значения $S_{\text{обр}}$. Поэтому, согласно формуле (8), эта поправка вводится со знаком минус.

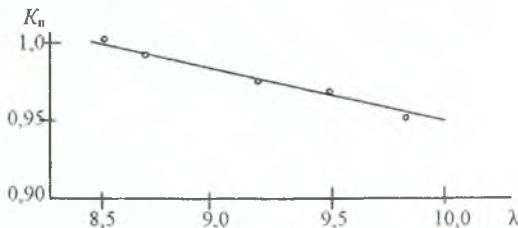


Рис. 1. Зависимость поправочного коэффициента K_n от параметра λ .

Применительно к дефектоскопу УДК-3, предназначенному для контроля круглых, плоских и резино-гросовых канатов горно-шахтного оборудования, были разработаны три комплекта СО, соответствующие этим трём типам канатов. Каждый комплект состоит из пяти СО, имитирующих износ 0% (исходное состояние каната) и приблизительно 90; 85; 80 и 75% (максимально допустимый износ). Абсолютная погрешность имитации износа СО не превысила 0,3%, что обеспечивает получение абсолютной погрешности для УДК-3 не более 1%.

Таблица 2. Магнитные и электрические параметры, оцениваемые при аттестации комплектов стандартных образцов

Обозначение СО в комплекте	Средние значения параметров намагничивающего поля				Средние значения $U_{\text{ф}}$, мВ	Амплитуда магнитного потока $\Phi_{\text{в}}$, мкВб	Отношения амплитуд магнитных потоков для СО
	160 А/м		50 А/м				
	$H_{\text{А}}$, А/м	f , Гц	$H_{\text{А}}$, А/м	f , Гц			
КГСО МП-1							
МП 1-1	160,2	200,0	-	-	68,8	77,5	1,0
МП 1-2	200,2	160,1			61,7	69,5	0,897
МП 1-3	160,0	200,3			58,5	66,0	0,851
МП 1-4	199,81	159,9			54,7	61,6	0,795
МП 1-5	59,8	200,0			51,2	57,7	0,744
КГСО МП-2							
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
КГСО МП-3							
МП 3-1	-	-	49,8		55,1	62,0	1,0
МП 3-2			50,1	200,1	49,6	55,8	0,900
МП 3-3			50,0	200,0	46,6	52,4	0,845
МП 3-4			50,2	200,2	44,5	50,0	0,807
МП 3-5			49,9	200,1	41,4	46,6	0,751

Исправленные значения $U_{\text{ф}}$ получены введением вышеприведенных поправок.

Эффективность применения разработанных комплектов стандартных образцов была подтверждена испытанием дефектоскопов УДК-3 в практических условиях эксплуатации канатов горно-шахтного оборудования.

Список литературы

1. Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов подъемных сооружений. Москва. Из-во. СП «Интрон Плюс». 2000. – 19с.
2. Измеритель износа стальных канатов Интрос МДК 21. Москва. Из-во НПФ «Интрон Плюс». 1997. – 47с
3. Марочник сталей и сплавов. Под. ред. В.Г. Сорокина. М: Машиностроение, 1989. – 640 с.
4. Чечерников В.И. Магнитные измерения М.: Изд-во Московского университета, 1963 – 285 с.
5. Янус Р.И. Магнитная дефектоскопия. М.-Л.: ОГИЗ Гостехиздат, 1946. – 171 с.