УДК 538: 622.67

А.Н. ЯРОШЕНКО, зав. отд., А.И. КРАВЕЦ, зав. лаб., В.Г. РИВЕНКО, науч. сотрудник; МакНИИ, Макеевка.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ РАССЕЯНИЯ ВОКРУГ ЛОКАЛЬНОГО ДЕФЕКТА В КАНАТЕ

Выполнено теоретическое исследование магнитных полей рассеяния вокруг локального дефекта в канате. Получены аналитические зависимости напряжённости магнитного поля рассеяния от координат. Проведен анализ полученных зависимостей.

Ключевые слова: канат, локальный дефект, напряжённость, магнитное поле, магнитный полюс, потенциал

В настоящее время одним из важных аспектов обеспечения безопасности работ на рудничном транспорте и подъёме является неразрушающий контроль состояния шахтных канатов. Причём, согласно НПАОП 10.0-1.01-10 «Правила безопасности в угольных шахтах» [1], при продлении срока службы канатов необходимо проводить неразрушающий контроль по двум параметрам: по потере сечения и по локальным дефектам.

Для проведения неразрушающего контроля локальных дефектов каната используются приборы, принцип действия которых основан на исследовании магнитных полей рассеяния вокруг намагниченного каната (канатные дефектоскопы «ИНТРОС», MD-6, MD-7 и др.).

В связи с этим, для магнитной дефектоскопии важное значение имеет характер распределения поля рассеяния вокруг места повреждения проверяемого каната.

Цель статьи — провести теоретическое исследование характера распределения магнитного поля рассеяния вокруг локального дефекта в канате, вывести формулы для напряженности магнитного поля рассеяния в зависимости от координат произвольной точки вблизи каната и его намагниченности.

Распределение силовых линий магнитного поля можно определить с некоторым приближением, принимая, что вблизи повреждения образуются магнитные полюса, расположение и сила которых зависит от вида и величины повреждения (рис. 1).

© А.Н. Ярошенко А.И. Кравец, В.Г. Ревенко, 2014



Рис. 1. Расположение магнитных полюсов, образующихся в местах повреждения:

а – для пары полюсов; *б* – для одного полюса.

В зависимости от вида повреждения может образовываться пара полюсов (рис. 1*a*) или один полюс (рис. 1*б*). Правильность такой модели была подтверждена экспериментальными исследованиями полей рассеяния [2]. Магнитное поле с двумя полюсами образуется, например, при разрыве проволоки (рис. 2*a*).



Рис. 2. Параметры повреждения и магнитного поля, образующегося в месте разрыва проволоки каната:

а – расположение магнитных полюсов; *б* – разложение магнитного поля вблизи полюса на составляющие.

Потенциал магнитного поля с одним полюсом в точке Р (рис. 26), находящейся на расстоянии d_b от полюса, составляет [2]:

$$\varphi = \frac{m}{d_b}.$$
 (1)

где *т* — магнитный момент (намагниченность).

Размещая ось x системы координат x, r по оси разорванной проволоки и рассматривая потенциал магнитного поля в плоскости, проходящей через эту ось, расстояние d_b можно заменить его составляющими по осям xи r:

$$d_b = \sqrt{x^2 + r^2} \,. \tag{2}$$

Отсюда

$$\varphi = \frac{m}{\sqrt{x^2 + r^2}}.$$
(3)

В магнитной дефектоскопии, основанной на измерении или регистрации магнитного поля рассеяния вокруг места повреждения, решающее значение имеет величина радиальной составляющей напряжённости магнитного поля рассеяния. Как известно [3], напряжённость стационарного поля в общем случае равна градиенту его потенциала, поэтому можно записать

$$H_{rI} = \frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{-\frac{m}{\sqrt{x^2 + r^2}}}{x^2 + r^2} = -\frac{mr}{\sqrt{x^2 + r^2}}.$$
(4)

$$H_{r\,Imax} = \frac{m}{r^2}.$$
(5)

При одном и том же значении *m* характер кривой H_{rI} в большой степени зависит от значения *R*. Это наглядно видно из графиков, приведенных на рис. 3*б*, где показаны две кривые $H_{rI} = f \langle \mathbf{e} \rangle$ для значений радиусов 1,0 и 3,0 см. Такой вид имеют функции H_{rI} при локальных дефектах, вид которых изображён на рис. 1*б*.

58 Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. –2014. –1(33)



Рис. 3. График функции $H_{rl} = f \clubsuit$: a -общий вид, $\delta -$ для принятых значений R.

При наличии локальных дефектов, показанных на рис. 1, б и 2, б, когда возникают два разноимённых полюса с равной намагниченностью *m* каждого, расстояние между полюсами будет равно 2*l*. В этом случае радиальную составляющую напряжённости магнитного поля H_{rl} можно определить как сумму составляющих по оси ординат двух кривых $H_{rl} = f \langle -l \rangle$ и $H_{rl} = f \langle +l \rangle$. Эти кривые показаны на рис. 4. В результате наложения получаем новую кривую $H_{rll} = f \langle -l \rangle$, уравнение которой можно получить после подстановки в уравнение (4) значений абсцисс $\langle -l \rangle$ и $\langle +l \rangle$:

$$H_{rll} = -\frac{mr}{\left(\left(\frac{r}{\left(\frac{r}{r}+l\right)^{2}+r^{2}}\right)^{2}} + \frac{mr}{\left(\left(\frac{r}{\left(\frac{r}{r}+l\right)^{2}+r^{2}}\right)^{2}}\right)^{2}} = mr\left\{\frac{1}{\left(\left(\frac{r}{\left(\frac{r}{r}+l\right)^{2}+r^{2}}\right)^{2}} - \frac{1}{\left(\left(\frac{r}{\left(\frac{r}{r}+l\right)^{2}+r^{2}}\right)^{2}}\right)^{2}}\right\}.$$
(6)

Это и есть уравнение радиальной составляющей напряжённости магнитного поля, возникающего от двух разноимённых полюсов.

59 Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. –2014. –1(33)



Рис. 4. График радиальной составляющей напряжённости магнитного поля при двух разноимённых полюсах

Как видно из уравнения (6), для значений x=0 $H_{rll}=0$, то есть кривая проходит через начало координат. Когда l=0 (полюса находятся в одной точке), $H_{rll}=0$. Если полюса раздвигать, т. е. $l \rightarrow \infty$, то

при
$$x = l H_{rII} = \frac{m}{r^2}$$
,
при $x = -l H_{rII} = -\frac{m}{r^2}$.

Наибольшее значение функции H_{rll} равно абсолютному значению функции H_{rl} , определяемой уравнением (5). Чтобы найти максимум функции H_{rll} , необходимо приравнять производную этой функции нулю, принимая r = R = const, а также l = const:

Отсюда можем получить уравнение

$$\frac{\langle\!\!\!\!\langle \mathbf{f}_{0} - l \rangle\!\!\!\!\!\rangle}{\left(\sqrt{\langle\!\!\!\!\langle \mathbf{f}_{0} - l \rangle\!\!\!\!\!\!^{2} + R^{2}}\right)^{5}} = \frac{\langle\!\!\!\!\langle \mathbf{f} + l \rangle\!\!\!\!\rangle}{\left(\sqrt{\langle\!\!\!\!\langle \mathbf{f} + l \rangle\!\!\!\!^{2} + R^{2}}\right)^{5}}.$$
(8)



Рис. 5. Зависимости между характеристиками магнитного поля: a -величиной l и положением максимума функции $H_{rll} = f$; $\delta -$ величиной l и величиной максимума функции $H_{rll} = f$;

e – шириной зазора S и расстоянием от магнитного полюса до края повреждения $\lambda_{\scriptscriptstyle p}.$

Решение этого трансцендентного уравнения может быть найдено одним из приближённых методов для различных значений l. На основе полученных значений построена кривая (рис. 5*a*), ординаты которой в достаточном приближении являются действительными корнями уравнения (8). Из рис. 5*a* видно, что максимум функции $H_{rll} = f \langle \cdot \rangle$ удаляется от оси ординат по мере увеличения расстояния между полюсами, равного 2*l*. Для больших значений *l*, когда l > R, можно принять, что $x_0 = l$ (рис. 5*б*). Основной трудностью при определении магнитного поля вокруг повреждения на основании приведенных выше уравнений является нахождение магнитных полюсов. Расположение полюсов, как видно из рис. 2, зависит от формы повреждения. Кроме того, оно зависит и от параметров повреждения.

Рассмотренный выше способ определения параметров магнитного поля может быть достоверным только в том случае, если поле рассеяния не подвергается возмущениям, которые могут быть при наличии в пределах поля предметов с различной магнитной проницаемостью. В этом случае в местах, где она меняется, магнитные линии поля изменяют своё направление. Обычно повреждениям подвергается только часть поперечного сечения тела (рис. 1), и поэтому поле рассеяния проходит частично по воздуху, а частично через неповреждённую часть проверяемого ферромагнитного тела. При распространении расчётов также на подобные случаи необходимо принять предположение, что если предмет намагничен до насыщения, магнитные силовые линии в месте соприкосновения предмета с воздухом не меняют направления (не преломляются).

выводы

Полученные формулы могут быть использованы при расчётах величины и характера сигналов от локальных дефектов в канатах при их магнитной дефектоскопии. Данные параметры могут быть использованы при совершенствовании существующих и разработке новых конструкций канатных дефектоскопов, принцип действия которых основан на намагничивании каната постоянным магнитным полем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. – Офиц. изд. – К.: Охрана труда. 2010. – 431 с. – (Нормативно-правовой документ Госгорпромнадзора Украины).

2. Ландау Л. Д. Теоретическая физика: в 10 т. / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – .–Т. VIII. Электродинамика сплошных сред. – 2005. – 656 с.

3. Ландау Л. Д. Теоретическая физика: в 10 т. / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – .–Т. II. Теория поля. –2003. – 536 с.

Получено: 20.02.2014

Виконано теоретичне дослідження магнітних полів розсіяння довкола локального дефекту в канаті. Отримані аналітичні залежності напруженості магнітного поля розсіяння від координат. Проведено аналіз одержаних залежностей.

Ключові слова: канат, локальний дефект, напруженість, магнітне поле, магнітний полюс, потенціал

The theoretical research of stray magnetic field around a local rope defect has been carried out. The analytic dependences between the stray magnetic field intensity and position data have been received. The analysis of received dependences has been carried out.

Keywords: rope, local defect, intensity, magnetic field, magnetic pole, potential.