



XXI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

28 ФЕВРАЛЯ - 2 МАРТА 2017



СБОРНИК ТРУДОВ

Результаты исследований реализованы в виде стендов «Робоскоп» ВТМ-3000/АД во ФГУП ГОСНИИ ГА, «Робоскоп» ВТМ-3000/КП и прочих во ФГУП Московский метрополитен, стенда лазерного сканирования и дефектоскопии «Робоскоп» ВТМ-3000 в ОАО «РЖД» и др.

Обсуждение результатов

Многофункциональный роботизированный комплекс НК «Робоскоп» обеспечивает дефектоскопию и измерение геометрических параметров объектов контроля сложной формы, определение размеров и координат дефектов и их автоматическую регистрацию. Применение комплекса «Робоскоп» позволяет уменьшить влияние человеческого фактора, играющего существенную роль при ручном контроле. Преимуществом применения робото-технического манипулятора обеспечивает экономию времени, высокую производительность и точность при обнаружении дефектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ланге Ю. В., Римский-Корсаков А. В. Устройство для контроля качества и однородности склейки изделий. – Авт. свид. № 126653, Кл.42к,4606, приоритет от 01.07.58. – Бюл. изобр. 1960. № 5.
2. Ланге Ю. В. Акустические низкочастотные методы и средства неразрушающего контроля многослойных конструкций. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.
3. Азаров Н. Т., Сырбу В. Н. Контроль клееных сотовых конструкций самолетов импедансным дефектоскопом ДАМИ-С // В мире неразрушающего контроля. – 2003. – № 3. – С. 16 – 29.
4. Мурашов В. В., Румянцев А. Ф. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов и методы их выявления. Ч. 1. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов // Контроль. Диагностика. – 2007. – № 4. – С. 23 – 31.
5. Мурашов В. В., Румянцев А. Ф. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов и методы их выявления. Ч. 2. Методы выявления дефектов монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов // Контроль. Диагностика. – 2007. – № 5. – С. 31 – 42.
6. Сырбу В. Н., Пырву С. И., Сляднев А. М. Автоматизированный комплекс «РОБОСКОП» ООО «Вотум», Москва, Россия // Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: тез. Док. 7-й Междунар. конф. Москва, 11 – 13 марта 2008 г. – М.: Машиностроение, 2008. – 208 с.: ил.
7. 19th WCNDT 2016. Tu2g2: Non-destructive Testing of Future Rocket Boosters Using Air-Coupled Ultrasound. Armin HUBER (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e.V., Augsburg, Germany).
8. Огородников О. М., Проничев И. М. Об опыте проектирования робото-технического комплекса для неразрушающего контроля // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2016. – № 3. – С. 36 – 40.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ MFL-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Сясько В. А.¹, Пудовкин О. П.²

¹ООО «КОНСТАНТА»;

²Санкт-Петербургский Горный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

Magnetic Flux Leakage (MFL) Technology широко применяется ведущими компаниями Silverwing, Rosen, NDT Technologies и др., производящими оборудование для выявления коррозионных повреждений.

При расположении П-образного постоянного магнита на некотором расстоянии от стенки ферромагнитного изделия часть силовых линий прерывается на границе разделов двух сред (магнит–воздух и воздух–стенка изделия) с отличающимися значениями абсолютной магнитной проницаемости μ , причем нормальная H_{ni} составляющая напряженности H магнитного поля испытывает скачок.

В случае если на одной из поверхностей листа будет участок с локальным утонением, то произойдет изменение картины магнитного поля. Плотность силовых линий в районе дефекта возрастет и часть магнитных силовых линий выйдет из листа как со стороны установки магнита, так и с противоположной стороны (произойдет рассеяние магнитного потока), что может быть зафиксировано путем измерения нормальной H_n составляющей напряженности магнитного поля или магнитного потока Φ , пронизывающего параллельный поверхности листа твердотельный чувствительный элемент площадью S .

Первичные измерительные преобразователи, представляют собой П-образные магнитопроводы с вставками из постоянных редкоземельных магнитов (Nd-Fe-B) и многоканальную систему чувствительных элементов, располагаемых симметрично между полюсами магнитопровода в области магнитного поля одной интенсивности. В качестве чувствительных элементов используются преобразователи Холла, анализирующие изменение составляющей B_z магнитной индукции в точке наблюдения при перемещении преобразователя относительно дефекта вдоль оси x (начало системы координат связано с центром пропила).

Эффективное использование технологии MFL для конкретных объектов предполагает проектирование оптимальной, отвечающей конкретной задаче, измерительной системы, применение специальных методов обработки измерительной информации и адекватной интерпретации результатов.

Представляется вероятным, что не для всех точек диапазонов изменения T и h чувствительность преобразователя, характеризуемая изменением амплитуды $B_z(h)$ в зоне коррозионного повреждения, будет оптимальной.

Основные показатели качества преобразователей:

- чувствительность преобразователя $d/dh(B_z(h, T))$, определяющая погрешность измерения $\Delta h(h, T)$, а также диапазон измерения $h_{\min} - h_{\max}$;
- минимально возможные размеры магнитопровода, обеспечивающие заданные $\Delta h(h, T)$ и $h_{\min} - h_{\max}$ в требуемом диапазоне толщин $T_{\min} - T_{\max}$;
- массогабаритные и эргономические характеристики.

При анализе преобразователя, представленного на рис. 1 будем полагать ширину магнитопровода много больше его высоты C и длины A , что позволяет исключить ее влияние при расчетах.

В настоящее время для решения задач, связанных с анализом электромагнитных полей широко применяется метод конечных элементов. Под оптимальными геометрическими характеристиками преобразователя будем понимать такие характеристики и их соотношения, при которых достигается максимальная чувствительность в требуемой области измеряемых $h_{\min} - h_{\max}$ объектов контроля в диапазоне толщин стенки $T_{\min} - T_{\max}$ при минимально возможных габаритах.

При использовании программных продуктов, реализующих метод конечных элементов, можно сформулировать следующую постановку задачи расчета преобразователя: двумерная, осесимметричная, стационарная, в общем случае нелинейная, с открытыми границами со следующими допущениями:

- в достаточно удаленной от преобразователя зоне создаваемое им магнитное поле бесконечно мало;
- отсутствуют внешние магнитные поля;
- модель полностью стационарна (отсутствует временной и температурный дрейф физических характеристик преобразователя).

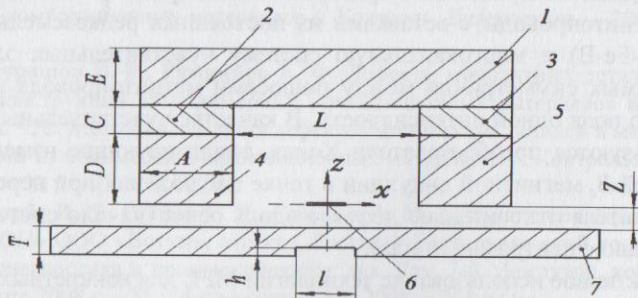


Рис. 1. Первичный измерительный преобразователь, реализующий технологию MFL, и объект контроля с искусственным дефектом в виде поперечного пропила, имитирующим коррозионное повреждение стенки:
1 - ярмо магнитопровода; 2 и 3 - редкоземельные магниты;
4 и 5 - полюса магнитопровода; 6 - чувствительный элемент/точка наблюдения;
7 - стальной лист с искусственным дефектом

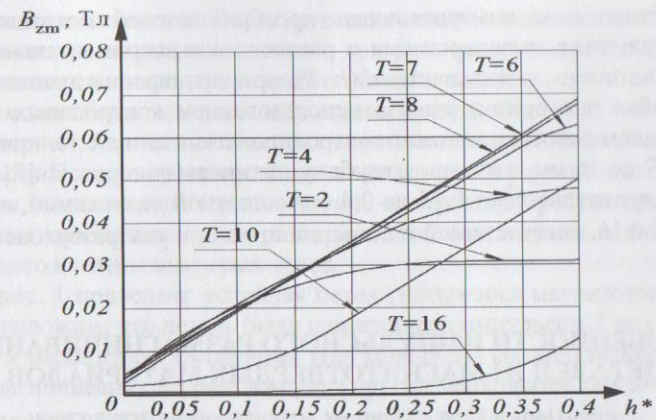


Рис. 2. Зависимость $B_{zm}(h^*, T)$ над листом из стали 1010 с искусственным дефектом в виде поперечного пропила шириной $l^* = 1$ при $Z = 5$ мм

Варьируемыми параметрами будут толщина листа T , относительная координата $x^* = x/T$, относительная глубина $h^* = h/T$ при постоянной относительной ширине пропила $l^* = l/T = 1$. При расчетах примем величину конструктивную зазора $Z = 5$ мм, а магнитную индукцию в магнитопроводе $B_m \approx 1,12$ Т.

Из рис. 2 видно, что в диапазоне $h^* \approx 0,05 \dots 0,4$ преобразователь имеет наибольшую чувствительность при $T \approx 6 \dots 8$ мм. Если $T < 4$ мм, то наблюдается существенная нелинейность характеристики и уменьшение чувствительности при $h^* > 0,1 \dots 0,2$. При $T > 10$ преобразователь практически полностью теряет чувствительность в области $h^* < 0,15$. Расчеты показывают, что для $h^* \approx 0,05 \dots 0,35$ близкие характеристики обеспечиваются в диапазоне $T \approx 5 \dots 9$ мм. Из этого можно сделать вывод о величине оптимальной намагниченности металла для проведения контроля.

Введем относительные размеры преобразователя: $A^* = A/T$, $C^* = C/T$, $E^* = E/T$, $D^* = D/T$, $L^* = L/T$, $Z^* = Z/T$. При $T_0 = 7$ мм для рассматриваемого преобразователя обозначим как оптимальные: $A_0^* = 3,57$, $C_0^* = 1,43$, $E_0^* = 2,86$, $D_0^* = 3,57$, $L_0^* = 7,14$, $Z_0^* = 0,71$. В диапазоне контроля ΔT от 5 до 9 мм относительные размеры преобразователя будут изменяться в пределах: $\Delta A^* \sim (5 \dots 2,77)$, $\Delta C^* \sim (2 \dots 1,11)$, $\Delta E^* \sim (4 \dots 2,22)$, $\Delta D^* \sim (5 \dots 2,77)$, $\Delta L^* \sim (10 \dots 5,55)$, $\Delta Z^* \sim (1 \dots 0,55)$.

В соответствии с рис. 1, при условии геометрического подобия магнитных систем преобразователей, можно разбить весь диапазон контролируемых толщин T на поддиапазоны, для каждого из которых относительные размеры преобразователей будут соответствовать оптимальным и изменяться в установленных для них пределах.

Макетирование измерительных преобразователей показало сходимость результатов моделирования и расчетов с экспериментальными данными, в частности, уменьшение $\Delta h(h, T)$, при расширении диапазонов h^* и T . Настройка преобразователей с использованием контрольных образцов перед началом работы позволяет контролировать изделия с толщиной стенки T от 2,7 до 16 мм и измерять глубину питинговых коррозионных повреждений в диапазоне h^* от 0,15 до 0,4 с абсолютной допустимой погрешностью $\Delta h \leq 0,1h$, сопоставимой с погрешностью при ультразвуковой толщинометрии.

ОСОБЕННОСТИ ИМПУЛЬСНОГО РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МАГНИТОТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Шарин П. А., Чуприн А. В., Чуприн В. А., Сосницкая Т. А.
(ООО «НПК «ЛУЧ», г. Балашиха, Московская область, Россия)

Доклад посвящен вопросу применения импульсного размагничивания для протяженных (более 1 м) деталей цилиндрической формы из магнитотвердых материалов.

Поскольку детали из магнитотвердых материалов обычно контролируют способом остаточной намагниченности (СОН), для чего используют импульсное намагничивание [1], то и размагничивание будет импульсным. Однако при контроле длинных деталей, например вала длиной 2 м из магнитотвердой стали 45ХН2МФА с коэрцитивной силой порядка $H_c \approx 60$ А/см, процесс размагничивания зависит от многих факторов, в том числе от того, каким способом и каким током деталь была намагничена.

Для импульсного намагничивания и последующего размагничивания такой детали подбирают оптимальные параметры импульсов тока: амплитуду, длительность и частоту следования импульсов.

Для данной детали амплитуда тока подбиралась таким образом, чтобы на поверхности детали тангенциальная составляющая напряженности поля H_t была не менее 200 А/см, достаточная для контроля СОН. Изначально была установлена длительность импульса $\tau = 1,5$ мс. Считается [1], что такой длительности достаточно, как для намагничивания, так и для размагничивания деталей с коэрцитивной силой более 10 А/см. Большинство деталей, контролируемых СОН имеют коэрцитивную силу в пределах от 10 до 40 А/см. В случае же с валом, имеющим коэрцитивную силу порядка 60 А/см, не удалось получить размагничивания до 5 А/см, как этого требует ГОСТ Р 56512–2015.

Исследования проводились на установке МДС-09 [2] в следующей последовательности: полюсное намагничивание → измерение остаточной намагниченности → циркулярное намагничивание → измерение остаточной намагниченности → циркулярное размагничивание → измерение оста-

точной намагниченности. После размагничивания напряженность поля в контрольных точках выросла почти в три раза по сравнению со значениями, полученными после циркулярного намагничивания.

Это может быть вызвано следующими причинами.

Во-первых, на процесс перемагничивания может влиять магнитная вязкость [3]. Поскольку материал магнитотвердый, то процесс его перемагничивания, в отличие от магнитомягких материалов требует времени для накопления необходимой для разворота доменов энергии и уменьшения тормозящего влияния вихревых токов.

На рис. 1 приведена условная петля гистерезиса магнитотвердой стали. Предположим, что деталь была намагничена импульсом 1 до состояния, близкого к насыщению. Остаточная индукция будет соответствовать точке А. Для размагничивания подаем импульс другой полярности той же амплитуды 2, но, поскольку длительность импульса мала, то перемагничивания детали не происходит. Лишь небольшая часть доменов успеет слегка изменить свое направление, и металл переходит в состояние, соответствующее точке Б. Следующий импульс 3 опять намагничивает деталь в том же направлении, что и импульс 1. Каждый раз при прохождении импульса той же полярности (3, 5, 7), что и при намагничивании, происходит подмагничивание детали. Когда поступает импульс обратной полярности (2, 4, 6, 8), не происходит перемагничивания из-за малого времени действия импульса. При этом полярность остаточной намагниченности не меняется, а значение остаточной индукции остается в диапазоне между точками А и Б, т.е. размагнитить деталь не удается.

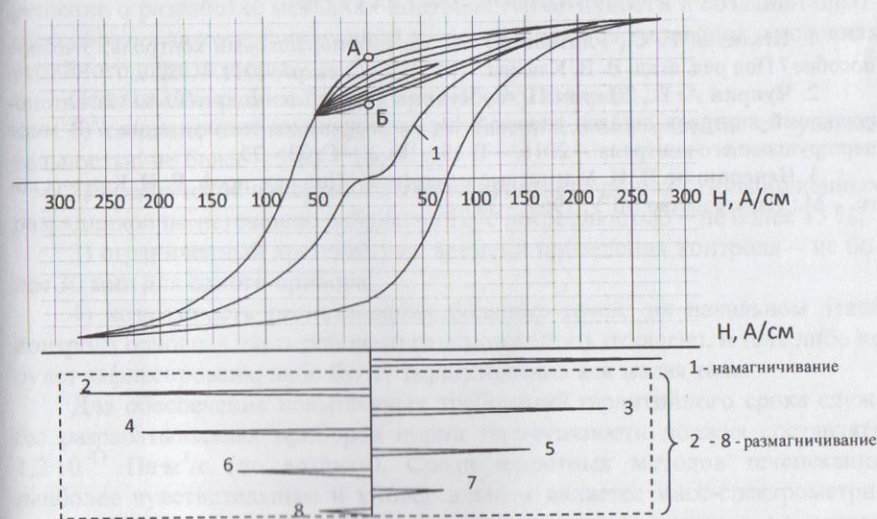


Рис. 1. Процесс размагничивания детали импульсами малой длительности