

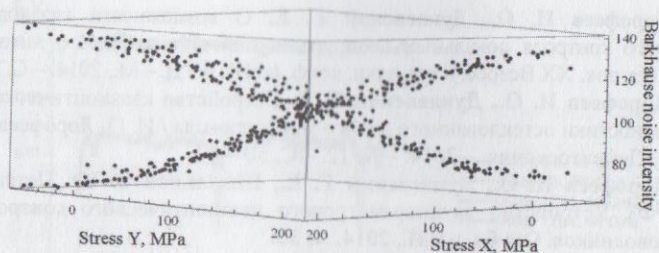


XXI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

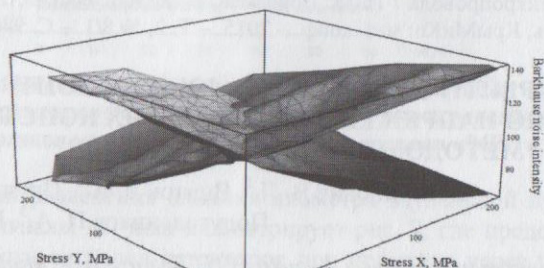
28 ФЕВРАЛЯ - 2 МАРТА 2017



СБОРНИК ТРУДОВ



а)



б)

Рис. 1. Экспериментальная 3D-диаграмма зависимости интенсивности МШ от двухосных напряжений (а) и ее 3D-сплайн (б). Восходящая и нисходящая поверхности соответствуют направлению намагничивания вдоль и поперек нагружения

Из диаграмм видно, что пересечение поверхностей в пределах точности проходит по линии под углом 45° к горизонтальным осям координат, соответствующей равенству X и Y компонент напряжений, характерному для определения шаровой компоненты при двухосной деформации. Была проведена также оценка погрешности из-за равенства нулю Z -компоненты напряжений (но не деформаций), которая была пренебрежимо малой. Важный вывод об инвариантности ИМШ по отношению к шаровой компоненте был проверен в независимых экспериментах с заваренной с обеих сторон трубой (толщина металла 6 мм) и тонкостенным баллоном (толщина металла 3 мм), нагружаемым внутренним давлением масла от насоса. Полученные данные, как и расчеты методом конечных элементов подтвердили результаты прямых двухосных испытаний. На этих примерах показано, что игнорирование этой закономерности приводит к погрешности измерения даже в знаке.

ВИХРЕТОКОВЫЙ ФАЗОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЛИБРОВКИ И ПОВЕРКИ ТОЛЩИНОМЕРОВ И МЕР ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ

Голубев С. С.¹, Сясько В. А.², Смирнова Н. И.³, Складановская М. И.⁴

¹Росстандарт, Москва, Россия;

²ООО «КОНСТАНТА», Санкт-Петербург, Россия;

³ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, Санкт-Петербург, Россия;

⁴Санкт-Петербургский Горный университет, Санкт-Петербург, Россия)

В современных изделиях используются различные технологии нанесения покрытий и материалы (кадмий, медь, олово, хром, цинк и др.), активно внедряются многослойные покрытия. Для повышения эффективности техники при ее усложнении необходимым условием является гарантированное качество покрытий.

Толщина покрытия T_n нормируется для конкретного типа изделий и является одним из основных измеряемых параметров. При этом диапазон измерения в зависимости от предъявляемых к изделию функциональных требований может составлять от десятых долей микрометра до нескольких миллиметров. При этом актуальной является задача повышения точности измерений.

Для измерения T_n металлических покрытий широко используют вихретоковые толщиномеры, реализующие фазовый метод, который основан на анализе электромагнитного поля вихревых токов, наводимых в испытуемом объекте, зависящих от T_n , электропроводности, магнитной проницаемости материалов покрытия и основания, а также геометрических характеристик изделия. Вихретоковые фазовые толщиномеры обеспечивают подавления влияния зазора между первичным измерительным преобразователем и изделием, а также шероховатости и кривизны основания.

Для использования таких толщиномеров на территории Российской Федерации необходимо обеспечить возможность их калибровки, проведение испытаний в целях утверждения типа и поверки. Кроме того, изготовителям необходимо корректно градуировать толщиномеры при производстве.

Для этих целей используются меры толщины металлических покрытий (МТМП). Анализ процесса измерений с использованием вихретоковых толщиномеров показывает недостаточность учета только геометрических параметров мер. Для производства, метрологического обеспечения и использования толщиномеров необходимо создание нового класса МТМП, обладающих расширенной номенклатурой нормируемых характеристик, а также разработка соответствующих методик их калибровки.

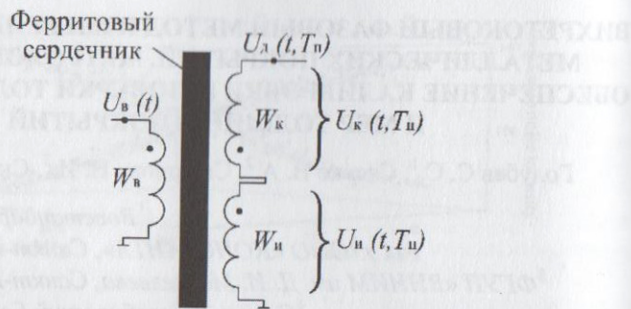


Рис. 1. Схема чувствительного элемента трансформаторного трехобмоточного первичного измерительного преобразователя с дифференциальным включением измерительной и компенсационной обмоток:
 $W_в, W_к, W_и$ – входная, компенсационная и измерительная обмотки;
 $U_в, U_к, U_и$ – выходной, входной, компенсационный и измерительный сигналы

Как правило, применяются трансформаторные трехобмоточные первичные измерительные преобразователи с дифференциальным включением измерительной и компенсационной обмоток. Схема чувствительного элемента такого преобразователя представлена на рис. 1.

Диапазон измеряемых толщин зависит от частоты f гармонического тока возбуждения и удельной электропроводности покрытия $\sigma_п$. В общем случае максимальная измеримая толщина покрытия T_{max} может быть оценена с использованием уравнения

$$T_{max} = 0,8\delta_0,$$

где δ_0 – стандартная глубина проникновения электромагнитной волны для материала покрытия.

Для неферромагнитных металлических покрытий

$$\delta_0 = 503/\sqrt{a\sigma_п}.$$

На рис. 2 представлена зависимость выходного сигнала $\dot{U}_{вн}$ от измеряемой величины T_n и влияющих величин – $\sigma_п, \sigma_{осч}, \mu_{осч}$.

При моделировании измерительного преобразователя над двухслойной структурой «металлическое покрытие–металлическое основание» варьировались параметры $\mu_{осч}, \sigma_{осч}, \sigma_п, T_n$ и вычислялись $Im\dot{U}_{вн}$ и $Re\dot{U}_{вн}$, по которым были рассчитаны зависимости $\Delta\varphi(T_n, \sigma_{осч}, \sigma_п, \mu_{осч})$ для частот возбуждения $f = 200$ кГц и 1,8 МГц.

Анализ зависимостей $\Delta\varphi(T_n, \sigma_{осч}, \sigma_п, \mu_{осч})$ показал, что дополнительные погрешности, обусловленные вариацией каждого из влияющих параметров будут равны:

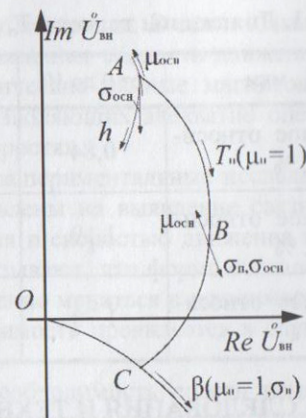


Рис. 2. Зависимость вносимого напряжения $\dot{U}_{вн}$ от параметров покрытия и основания для задач измерения T_n неферромагнитных электропроводящих покрытий на ферромагнитном электропроводящем основании

$$\Delta T(\sigma_{осч}) = q(\Delta\sigma_{осч}/\sigma_{осч})T_n$$

$$[\sigma_п = \text{const}, \mu_{осч} = \text{const}],$$

где q изменяется в диапазоне от 1,49 до 1,62 для $\sigma_п = 7...60$ МСм/м и $\sigma_{осч} = 8$ МСм/м;

$$\Delta T(\sigma_п) = s(\Delta\sigma_п/\sigma_п)T_n$$

$$[\sigma_{осч} = \text{const}, \mu_{осч} = \text{const}],$$

где s изменяется в диапазоне от 0,86 до 1,01 для $\sigma_п = 7...60$ МСм/м и $\sigma_{осч} = 8$ МСм/м;

$$\Delta T(\mu_{осч}) = p(\Delta\mu_{осч}/\mu_{осч})T_n$$

$$[\sigma_п = \text{const}, \sigma_{осч} = \text{const}],$$

где p изменяется в диапазоне от 1,56 до 1,69 в зависимости от $\sigma_п$.

Полученные максимальные допустимые отклонения значений влияющих электрофизических параметров покрытий и оснований мер, обеспечивающие погрешность измерения $\Delta T_n \leq \pm(0,02T_n + 1)$ мкм представлены в табл. 1.

Полученные зависимости и рассчитанные допустимые отклонения электрофизических параметров покрытий и оснований мер могут быть положены в основу при разработке документации и техпроцессов их изготовления, а корректировки схем прослеживаемости и поверочных схем для вихрековых фазовых толщиномеров металлических покрытий.

1. Диапазоны толщин T_n

Диапазон толщин T_n , мкм	от 0 до 10	от 10 до 30	от 30 до 60
Максимально допустимое относительное отклонение $\mu_{\text{осн}}$, %	0,84	0,36	0,21
Максимально допустимое относительное отклонение $\sigma_{\text{осн}}$, %	1,19	0,56	0,24
Максимально допустимое относительное отклонение $\sigma_{\text{п}}$, %	1,70	0,74	0,46

НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Марков А. А., Антипов А. Г.

(ОАО «Радиоавионика», Санкт-Петербург, Россия)

Магнитный (магнитодинамический) метод исследования состояния длинномерных объектов из ферромагнитных материалов сводится к воздействию объект движущимися источниками постоянного магнитного поля (намагничивающей системой) и выявлению структурных аномалий внутри объекта по искажениям картины поля вблизи него. Применяется для контроля состояния труб, рельсов, стальных канатов и других подобных изделий из материалов с высокой магнитной проводимостью. За рубежом известен как метод рассеяния магнитного потока (MFL).

Одним из ключевых параметров, влияющих на результаты контроля магнитодинамическим методом, является скорость движения намагничивающей системы вдоль длинномерного объекта. Если скорость движения мала (< 1 м/с), распределение поле в объекте и вокруг него можно рассматривать как статическое. Этот случай относительно хорошо изучен – существуют модели, дающие оценку характеристик обнаруженной аномалии по данным рассеяния.

Однако практические потребности вынуждают увеличивать скорость движения намагничивающей системы относительно объекта контроля. Так, в дефектоскопии рельсов, уложенных в путь, ставится задача разработки средства контроля, способного работать в составе регулярных поездов (т.е. со скоростью движения порядка 30 м/с). В данном случае статическое описание распределения поля оказывается некорректным, поскольку не учитывает важный фактор – влияние вихревых токов, возникающих в проводящем ферромагнитном материале. Вихревые токи оказывают существенное воздействие на картину поля, препятствуя проникновению маг-

нитного потока в толщу материала. В связи с вышесказанным, становится актуальными изучение влияния скорости движения намагничивающей системы на дефектоскопические данные магнитодинамического метода и разработка моделей, позволяющих адекватно оценить характеристики дефектов при высоких скоростях.

Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные авторами доклада, направлены на выявление связи между распределением поля в объекте контроля и скоростью движения намагничивающей системы. Исследования показывают, что форма сигналов от несплошностей материала может существенно меняться в зависимости от скорости движения. Наиболее сильно зависимость проявляется в случае глубокого заложения дефекта.

Подчеркивается необходимость внести изменения в существующие системы намагничивания, чтобы обеспечить более длительное взаимодействие поля с объектом контроля. Предложена и рассчитана намагничивающая система на ходовых тележках соседних вагонов для осуществления высокоскоростного дефектоскопического контроля уложенных в железнодорожный путь рельсов.

Многообещающие результаты дает изучение возможности применения удаленного поля магнитодинамического метода (MFL-RF) в дефектоскопических целях. Речь идет о намагниченности материала, остающейся в проводящем ферромагнитном объекте на протяжении времен порядка секунды после проезда намагничивающей системы и обусловленной действием вихревых токов. Конфигурация удаленного поля, тянущегося за задним полюсом намагничивающей системы на протяжении нескольких метров, дает основания надеяться на успешное применение MFL-RF для поиска глубоко заложённых дефектов рельсового пути (рис. 1).

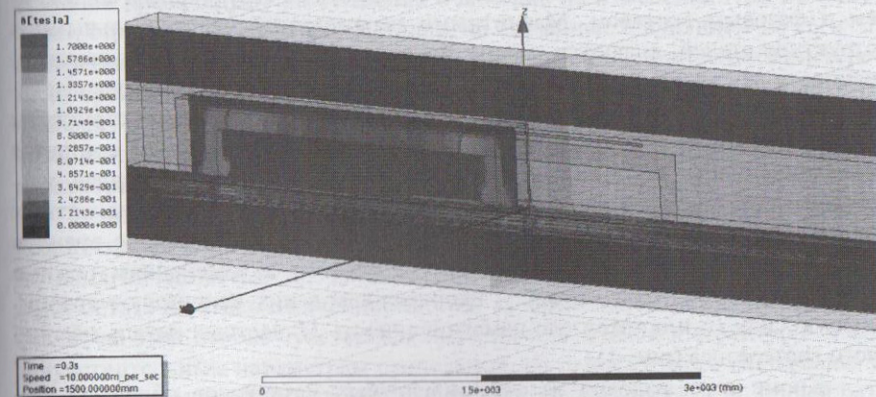


Рис. 1. Распределение поля в центральном продольном сечении рельса. Скорость движения намагничивающей системы относительно рельса – 10 м/с