

1. Манцветов, А.А. Телекамеры на КПОП фото-приёмниках / А.А. Манцветов, А.К. Цыцулин // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. - 2006. - №2. - С. 70-89 с.
2. Пятков, В.В. КМОП фотосенсоры с многоканальной схемой опроса / В.В. Пятков, А.А.

Умбиталиев // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. - 2011. - №2. - С. 34-42.

3. Дворкович, В.П. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика) / В.П. Дворкович, А.В. Дворкович - М. : Техносфера, 2012. - 1008 с.

УДК 620.179.14

ИМПУЛЬСНЫЙ МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОТПУСКА РЕССОРНО-ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ ПРИБОРОМ ИМА-6

Бурак В.А.

*Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси
Минск, Республика Беларусь*

Рессорно-пружинные стали применяются для изготовления рессор, амортизаторов, силовых пружин различного назначения и других упругих элементов, и поэтому они должны иметь высокие пределы упругости, выносливости и релаксационную стойкость. Этим требованиям удовлетворяют стали с повышенным содержанием углерода (0,5–0,7 %), подвергнутые закалке и последующему отпуску при 420–520 °С [1]. К таким сталям относится и хромомарганцеванадиевая высококачественная рессорно-пружинная сталь 50ХГФА, в которой повышенное содержание марганца и присутствие ванадия приводит к увеличению прочностных свойств с небольшим изменением пластичности и повышает прокаливаемость и ударную вязкость.

Магнитные методы неразрушающего контроля получили широкое распространение для контроля структурного состояния ферромагнитных материалов и изделий, к которым относится и класс рессорно-пружинных сталей. Однако возможность магнитного контроля механических свойств изделий из рессорно-пружинных сталей [1, 2] после термической обработки может быть установлена только по результатам экспериментальных исследований, включающих изучение влияния отклонений режимов термообработки (как температуры закалки, так и температуры отпуска) на магнитные и механические свойства стали и определения информативных магнитных параметров, которые имеют однозначную связь с механическими свойствами.

Для неразрушающего контроля качества отпуска закаленных изделий из рессорно-пружинных сталей особый научный и практический интерес представляет импульсный магнитный метод, который заключается в локальном импульсном намагничивании или намагничивании и частичном размагничивании контролируемого изделия неоднородным магнитным полем накладного соленоида, ось которого перпендикулярна поверхности контролируемого изделия, измерении градиента ∇H_m нормальной состав-

ляющей напряженности поля остаточной намагниченности, по величине которого и заранее установленным корреляционным связям определяются механические свойства или температура термообработки. Для реализации импульсного магнитного метода при контроле температуры отпуска рессорно-пружинной стали 50ХГФА использовался импульсный магнитный анализатор ИМА-6 [3].

Исследуемые образцы из рессорно-пружинной стали 50ХГФА представляли собой пластины 140×20×2,2 мм³, подвергнутые закалке от температур 790, 820, 850, 880 и 910 °С и последующему отпуску при температурах 200, 300, 350, 410, 440, 470, 500, 530, 560 и 600 °С. При контроле преобразователь прибора ИМА-6 размещался таким образом, чтобы ось феррозонда датчика находилась перпендикулярно на пересечении диагоналей пластин. Намагничивание контролируемых образцов осуществлялось одним импульсом амплитудой 250 кА/м, амплитуды размагничивающих импульсов выбирались для каждой температуры закалки из условия полного размагничивания намагниченного участка изделия из числа контролируемых, подвергнутого отпуску при максимальной или минимальной температуре и были равны 20 и 35 кА/м соответственно.

В ходе исследований было установлено, что при частичном размагничивании локально намагниченного образца устанавливается однозначная связь между градиентом ∇H_m^p нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности частично размагниченного образца и температурой отпуска во всем интервале изменения температур отпуска рессорно-пружинной стали 50ХГФА.

Так, как видно из рисунка 1, в случае, когда амплитуда размагничивающего импульса H_m^{pl} выбрана такой, что при максимальной для данного типа изделий температуре отпуска (для исследуемых образцов – 600 °С) величина изме-

ряемого градиента ∇H_m^{p1} равна нулю или максимально близка к нулю, в диапазоне температур от 300 до 600 °С наблюдается практически линейная взаимосвязь между температурой отпуска и градиентом ∇H_m^{p1} . Чувствительность градиента ∇H_m^{p1} к изменению температуры отпуска в этом диапазоне составляет в среднем около 140 А/(м²·°С) при коэффициенте корреляции не менее 0,89.

В то же время, при выборе амплитуды H_m^p размагничивающего импульса из условия, что при минимальной для данного типа изделий

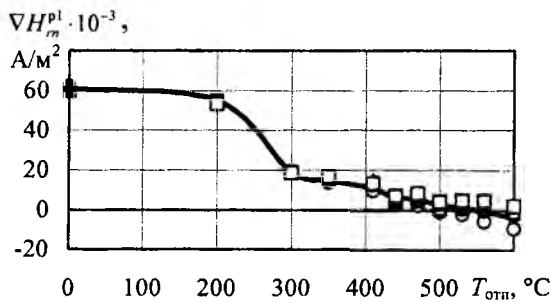


Рисунок 1 – Зависимость градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности образцов стали 50ХГФА от температуры отпуска, $H_m^p = 20$ кА/м

температуре отпуска величина измеряемого градиента ∇H_m^{p2} равна нулю или максимально близка к нулю, как показано на рисунке 2, диапазон линейности может даже расширяться в сторону меньших температур, но при этом чувствительность градиента ∇H_m^{p2} к изменению температуры отпуска несколько меньше в сравнении с первым рассмотренным вариантом выбора амплитуды размагничивающего импульса и составляет в среднем около 82 А/(м²·°С) при коэффициенте корреляции 0,965.

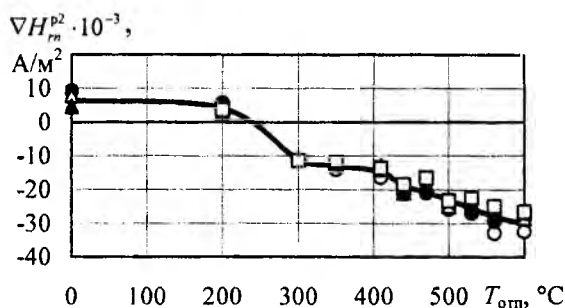


Рисунок 2 – Зависимость градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности образцов стали 50ХГФА от температуры отпуска, $H_m^p = 35$ кА/м

Хорошие результаты получаются также и при использовании в качестве информативного параметра суммы градиентов, измеренных после локального размагничивания намагниченного изделия импульсами разной амплитуды, первая из которых привязана к закаленному изделию (изделию с максимальной коэрцитивной силой), а вторая – к изделию, отпущенному при максимальной для испытываемого типа изделий температуре (изделию с минимальной коэрцитивной силой), что видно из представленной на рисунке 3 зависимости. При таком выборе параметра контроля в диапазоне температур отпуска от 200 до 600 °С обеспечивается средняя чувствительность около 220 А/(м²·°С) при коэффициенте корреляции 0,93.

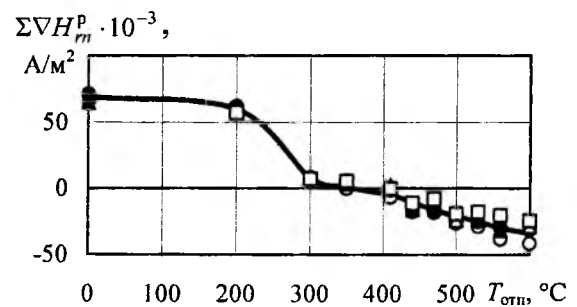


Рисунок 3 – Зависимость суммы градиентов нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности образцов стали 50ХГФА от температуры отпуска

По результатам исследований возможности импульсного магнитного контроля качества отпуска пружинно-рессорных сталей на примере стали 50ХГФА можно сделать вывод о том, что намагничивание и частичное размагничивание контролируемого изделия из стали 50ХГФА импульсами магнитного поля с привязкой амплитуды размагничивающих импульсов к размагниченному состоянию закаленных и отпущенных при максимально возможной температуре изделий и измерение суммы градиентов, измеренных после окончания двух разных по амплитуде размагничивающих импульсов, устраняет неоднозначность и повышает чувствительность контроля структурного состояния изделий из рессорно-пружинных сталей, подвергнутых отпуску после закалки.

Реализованные в импульсном магнитном анализаторе ИМА-6 режимы намагничивания и размагничивания позволяют обеспечить контроль низкотемпературного, средне- и высокотемпературного отпуска предварительно закаленных изделий из пружинно-рессорных марок сталей.

Кроме того следует отметить, что вариация температуры закалки испытываемых образцов

из рессорно-пружинной стали 50ХГФА в пределах от 790 до 910 °С не оказывает заметного влияния на результаты измерений.

1. Мельгуй, М.А. Магнитный контроль механических свойств сталей / М.А. Мельгуй – Минск: Наука и техника, 1980. – 184 с.

2. Михеев, М.Н. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М.Н. Михеев, Э.С. Горкунов – М.: Наука, 1993. – 252 с.
3. Матюк, В.Ф. Импульсный магнитный анализатор ИМА-6 / В.Ф. Матюк, В.А. Бурак, А.А. Осипов, Д.А. Пинчуков // Дефектоскопия. – 2009. – № 7. – С. 62–74.

УДК 621.396.96

ОЦЕНИВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ЦЕЛЕЙ В ПРОСВЕТНОЙ РЛС ПРИ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Буров В.Н., Мякинников А.В.

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева
Нижний Новгород, Российская Федерация*

В радиолокационных системах с обнаружением “на просвет” передатчик и приемник разнесены в пространстве на расстояние b , называемое базой системы. Обнаружение и сопровождение целей происходит в узкой области, вытянутой вдоль линии базы, соединяющей передающую (ПП) и приемную позиции (ПР). В этой области эффективная площадь рассеяния (ЭПР) целей резко возрастает благодаря действию так называемого просветного эффекта.

В работе [1] был рассмотрен алгоритм для случая движения цели по криволинейной траектории при использовании независимых первичных измерений. В ряде случаев цель в просветной РЛС может наблюдаться лишь в узкой зоне обнаружения, имеющей угловой размер порядка нескольких градусов. Для таких ситуаций в [2] уже был рассмотрен метод повышения точности, основанный на формировании дополнительных коррелированных измерений, однако оценка точности определения координат целей производилась только методом математического моделирования. Представляет интерес теоретический анализ точности оценивания траекторных параметров, полученных при коррелированных первичных измерениях.

В просветной РЛС с непрерывным квази-гармоническим зондирующим сигналом в качестве измеряемых первичных параметров используются частота Доплера f_d , азимут цели α и угол места цели β . Последовательность n измерений первичных параметров образует вектор первичных измерений

$$\mathbf{z}_n = [f_{d1}, \alpha_1, \beta_1, f_{d2}, \alpha_2, \beta_2, \dots, f_{dn}, \alpha_n, \beta_n]^T$$
, где верхним символом “^” обозначены результаты измерений; “T” – символ транспонирования. При движении цели по криволинейной траектории вектор траекторных параметров имеет вид

$$\mathbf{x}_n = [x_n, y_n, z_n, v_{xn}, v_{yn}, v_{zn}, a_{xn}, a_{yn}, a_{zn}]^T$$
, где x_n, y_n, z_n – текущие координаты цели, v_{xn}, v_{yn}, v_{zn} – текущие координатные проекции скорости цели v , a_{xn}, a_{yn}, a_{zn} – координатные проекции ускорения

цели \mathbf{a} . Задача траекторного сопровождения заключается в нахождении оценки $\hat{\mathbf{x}}_n$ вектора траекторных параметров на основе обработки вектора первичных измерений \mathbf{z}_n . В качестве алгоритма траекторной обработки может применяться итерационный алгоритм Гаусса-Ньютона [3, 4]

$$\mathbf{x}_n^{j+1} = \mathbf{x}_n^j + k(\mathbf{H}_n^T \mathbf{G}_n \mathbf{H}_n)^{-1} \mathbf{H}_n^T \mathbf{G}_n [\mathbf{z}_n - \mathbf{h}_n(\mathbf{x}_n^j)] \quad (1)$$

где \mathbf{x}_n^{j+1} – уточненная оценка вектора траекторных параметров цели, \mathbf{x}_n^j – начальное приближение, $\mathbf{H}_n = \partial \mathbf{h}_n(\mathbf{x}_n) / \partial \mathbf{x}_n$ – матрица производных при $\mathbf{x}_n = \mathbf{x}_n^j$, k – параметр, определяющий скорость сходимости алгоритма, $\mathbf{G}_n = \mathbf{R}_e^{-1}$. При использовании коррелированных первичных измерений матрица \mathbf{G}_n имеет недиагональный вид.

Одной из задач, решаемых просветными РЛС, является обнаружение малоразмерных целей (например, беспилотных летательных аппаратов). Для обеспечения высокой вероятности обнаружения таких целей необходимо увеличивать интервал накопления сигнала. Обнаружение и сопровождение целей в просветной РЛС происходит в узком угловом секторе, ширина которого определяется действием просветного эффекта. Поэтому число независимых измерений первичных параметров может оказаться недостаточным для обеспечения требуемой точности определения координат цели. В некоторых случаях число первичных измерений может оказаться недостаточным даже для сходимости итерационного алгоритма (1). Для преодоления указанных трудностей предлагается производить измерение первичных параметров с интервалом T_n , значительно меньшим, чем интервал накопления сигнала T_n . При этом соседние интервалы времени, в течение которых происходит накопление сигнала, его обнаружение и измерение первичных параметров, перекрываются.

Потенциальная точность предложенного алгоритма определяется как нижняя граница неравенства Рао-Крамера [5] и имеет вид (2):