

Кузнецов В. В.

Калмыков М. А.

Яковенко В. В.

Восточноукраинский
национальный
университет
им. Владимира Даля

УДК 621.316

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ УПРОЧНЕННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ВИБРООБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ

Предложен метод контроля толщины упрочненного слоя материала непосредственно во время обработки. Контролю подвергаются крупногабаритные ферромагнитные детали, которые укрепляются во вращающемся барабане. Система состоит из электромагнитных датчиков и устройства обработки сигналов. Используется гармонический метод контроля, при котором анализируется третья гармоника выходного сигнала преобразователя. Проведены экспериментальные исследования, позволяющие определить функциональную зависимость между толщиной упрочненного слоя и параметрами выходных сигналов преобразователя. Для устранения влияния изменения воздушного зазора между измерительным преобразователем и поверхностью контролируемой детали использована схема компенсации.

There is an inspection method of thickness of material's hardened case during processing was offered.

При обработке крупногабаритных ферромагнитных деталей, которые закрепляются в обойму и совершают вращательное движение, имеется необходимость непосредственно во время обработки контролировать толщину слоя упрочненного материала (ТСУМ).

Для контроля упрочненного поверхностного слоя обрабатываемых деталей предлагается многочастотный электромагнитный метод. Контроль состояния поверхности деталей ведется при движении детали относительно измерительного преобразователя. Контроль осложняется тем, что в зону действия преобразователя деталь входит на малый промежуток времени. Причем амплитуда сигнала непрерывно изменяется вследствие относительного перемещения детали и преобразователя. Когда в зону действия преобразователя входит следующая

закрепленная в барабане деталь, то воздушный зазор между измерительным преобразователем и контролируемой поверхностью детали изменяется в некоторых пределах.

На рис. 1 показан принцип действия измерения величины упрочненного слоя при вибрационной обработке в контейнере. В контейнере 1 в рабочей среде 2 находится барабан 3 с закрепленными на нем деталями 4. Над контейнером находятся измерительный 5 и компенсационный 6 преобразователи. Между ними находится катушка возбуждения 7. При перемещении детали, находящейся в нижней части барабана, в области расположения датчика, в измерительной обмотке формируется сигнал, несущий информацию о толщине упрочненного слоя. Сигнал существует время, за которое контролируемая деталь проходит зону действия датчика.

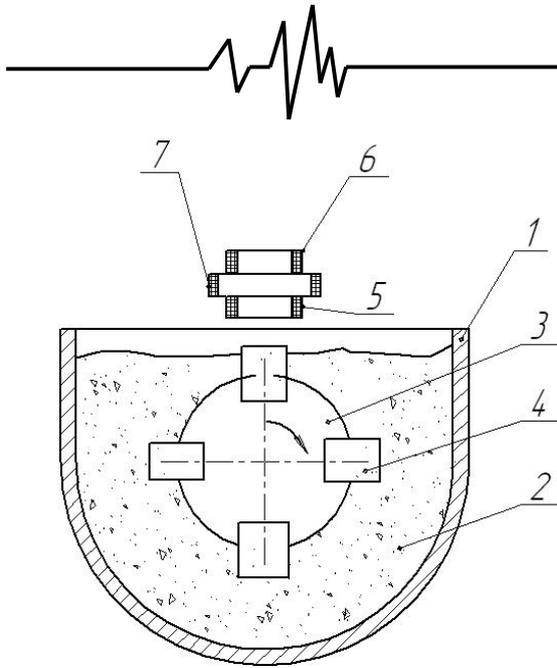


Рис. 1. Принцип контроля поверхностного слоя ферромагнитных деталей

- 1 – контейнер; 2 – рабочая среда;
3 – барабан; 4 – обрабатываемая деталь;
5 – измерительный преобразователь;
6 – компенсационный преобразователь;
7 – катушка возбуждения.

Приборы структурного анализа поверхностного слоя ферромагнитных изделий существуют давно [1, 2, 3] и выпускаются серийно [4, 5]. Однако их использованию в данном случае препятствует следующий ряд нерешенных задач:

- кратковременность вхождения датчика в зону контроля требует специальных методов и аппаратуры обработки информации;
- колебания зазора между датчиком и деталью вносит помеху в сигнал, которую необходимо компенсировать.

Поэтому прежде, чем использовать существующие структуроскопы, необходимы дополнительные исследования возможности неразрушающего контроля перемещающихся в пространстве деталей с выше приведенными особенностями контроля, на основе которых разработать методику контроля.

При электромагнитном контроле структуры ферромагнитного материала, как было сказано в анализе литературных источников, наиболее перспективным является метод высших гармоник, поэтому этот метод будет положен в основу системы контроля толщины слоя упрочненного материала ТСУМ. Анализ литературных источников показывает, что наиболее эффективен метод контроля, который получил название – гармонический. В основе гармонического анализа лежит нелинейная зависимость индукции в функции изменения намагничивающего поля. Характер

нелинейности зависит от совокупности свойств ферромагнетика и в частности от микроструктуры.

Требование повышения чувствительности вихретокового преобразователя при контроле высших гармоник делает целесообразным изучение условий контроля этим методом ТСУМ. Режимы работы преобразователей изучены для деталей с площадью во много раз превышающей размеры преобразователей. В рассматриваемом случае размеры преобразователей соизмеримы с линейным размером контролируемой детали. В результате влияния краев изделия существенно изменяются амплитудно-фазовые соотношения выходного сигнала преобразователя, и результаты существующих теоретических расчетов оказываются неприемлемыми [4].

Для выбора режимов контроля ТСУМ необходимо по экспериментальным данным построить годографы гармонических составляющих сигнала и определить чувствительность накладного преобразователя. Априори была высказано предположение о преимуществе использования третьей гармоники сигнала.

Структурная схема измерительной установки, использованной для исследования третьей гармоники, приведена на рис. 2. Она состоит из прецизионного генератора Г (типа ГЗ-514), к которому, через высококачественный усилитель мощности УМ, подключена последовательно с резистором R возбуждающая обмотка накладного преобразователя П. К измерительной обмотке преобразователя через избирательный усилитель ИУ1 подключен фазочувствительный вольтметр ВФ. Вход эталонного напряжения фазочувствительного вольтметра подключен через избирательный усилитель ИУ2 к триггеру Шмитта ТШ, который подключен к резистору R. Для лучшего выделения исследуемой третьей гармоники избирательные усилители выполнены в виде последовательно соединенных селективных вольтметров.

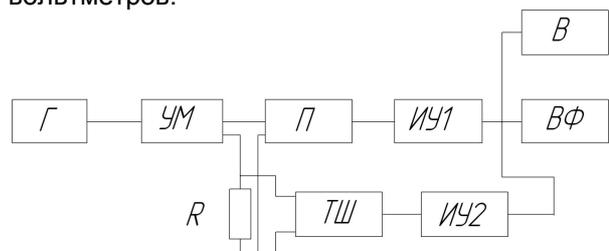
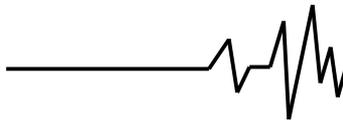


Рис. 2. Структурная схема измерительной установки.



Напряжение с генератора Г через усилитель мощности УМ подается на возбуждающую обмотку преобразователя П. Нелинейные искажения тока возбуждения не превышают 0,3%, что очень важно при контроле по третьей гармонике. Третья гармоника сигнала с измерительной обмотки преобразователя выделяется избирательным усилителем ИУ1 и поступает на один из входов фазочувствительного вольтметра ВФ. Опорный сигнал фазочувствительного вольтметра, представляющий третью гармонику частоты возбуждения, выделяется избирательным усилителем ИУ2 из прямоугольных импульсов, сформированных триггером Шмитта из напряжения, снимаемого с резистора R.

Селективные вольтметры в опорном канале настраиваются таким образом, чтобы отсутствовал фазовый сдвиг между эталонным напряжением третьей гармоники и первой гармоникой возбуждающего тока. Момент совпадения контролируется по фигурам Лиссажу с помощью осциллографического индикатора. Перед каждым измерением производится калибровка измерительного канала. Для этого напряжение с резистора R подается на вход измерительного усилителя ИУ1, который настраивается так, чтобы фазочувствительный вольтметр ВФ показал отсутствие фазового сдвига между входным и выходным сигналами в измерительном канале. После этого определяется коэффициент передачи измерительного канала.

Снятые на этой установке годографы третьей гармоники нормируют э.д.с. холостого хода. Годографы снимаются для буртиков большого «кармана» шатуна и для плоскости материала шатуна, то есть когда плоскость контроля много больше диаметра измерительного преобразователя. Детали подвергались виброобработке разные промежутки времени, ТСУМ менялась в пределах $20 \cdot 10^{-6}$ - $600 \cdot 10^{-6}$ м.

Определялась зависимость действительного значения нормированной величины напряжения и мнимой составляющей от частоты возбуждения, ТСУМ, величины напряженности магнитного поля возбуждения H_m . Зависимость от частоты представлялась зависимостью от параметра β ,

$$\beta = R \sqrt{\mu_0 \mu \cos \gamma}$$

где R - радиус измерительного преобразователя;
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

μ - относительная магнитная проницаемость контролируемого материала;
 $\omega = 2\pi f$ - угловая частота;
 f - циклическая частота;
 γ - проводимость контролируемого материала.

Таблица 1

Зависимость параметра β от частоты при параметрах $R=0,5 \cdot 10^{-2}$ м; $\mu=800$; $\gamma=2 \cdot 10^{-6}$ См/м

f, Гц	500	1000	2000	5000	104
β	12,56	17,8	25	40	56

Снятые на установке годографы третьей гармоники, нормированной на э.д.с. холостого хода для различной глубины упрочненного слоя и напряженности возбуждающего поля H_m^* представлены на рис. 3. При построении этих годографов объект контроля представлялся в виде двухслойного изделия. Толщина слоя α представлена на графиках в абсолютном значении, в миллиметрах. Нормирование напряженности поля привязано величиной $H=2 \cdot 10^3$ А/м. Годографы третьей гармоники существенно отличаются от годографов первой гармоники (рис. 4).

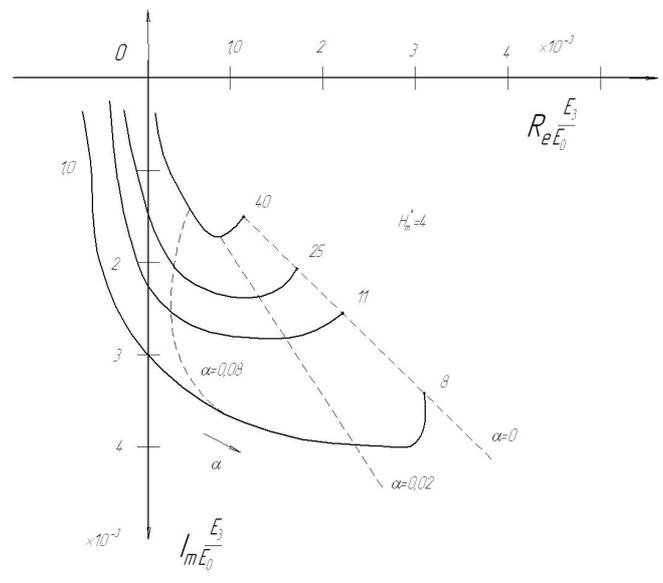


Рис. 3. Годографы третьей гармоники для изделий с различной глубиной упрочненного слоя.

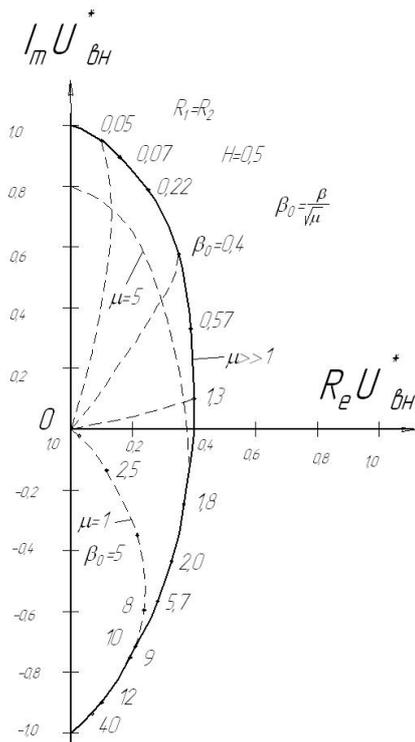


Рис. 4. Годографы вносимого напряжения от параметров изделия в виде ферромагнитного полупространства.

Они располагаются в третьей и четвертой четверти комплексной плоскости и представляют отрезок спирали, раскручивающейся в сторону уменьшения глубины упрочненного слоя ($\alpha \rightarrow 0$). Годографы, соответствующие большим значениям обобщенного параметра β , располагаются внутри годографов с меньшим значением β .

Из графиков приведенных на рис. 3 видно, что максимальные значения, вносимые в контур действительные и мнимые составляющие э.д.с. имеют при $\beta=8$. Но имеется участок в области $0 < \alpha < 0,02$ с резко выраженной нелинейностью, поэтому следует выбирать значения $11 < \beta < 40$, в этом случае преобладающее значение имеет действительная составляющая вносимой э.д.с.

Детали в обойме устанавливаются с некоторым разбросом их положения в пространстве, что вызывает изменение зазора между измерительным преобразователем и плоскостью детали, то есть изменяются величины h_1 и h_2 , что вносит значительную погрешность в результаты измерений. В абсолютных значениях это изменение составляет 0,3-2 мм, что вносит в относительную погрешность в измерения равную 20-120%.

Без компенсации измерения зазора устройство контроля толщины слоя упрочнения железа становится неработоспособным. Механическим путем, то есть изменять расстояние между преобразователем и деталью в зависимости от их взаимного положения сложно и не надежно.

Поэтому предлагается электронная схема компенсации погрешности при изменении зазора. Принцип построения устройства компенсации иллюстрируется блок-схемой, приведенной на рис. 5.

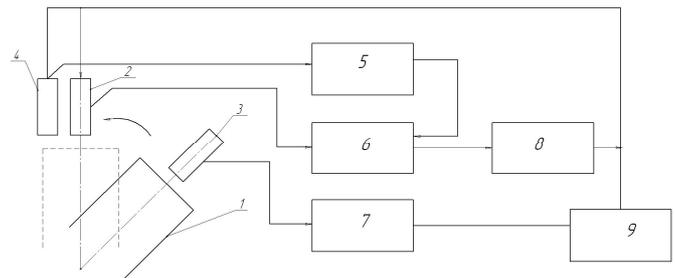
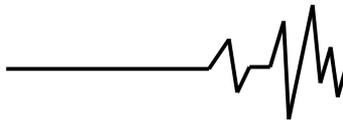


Рис. 5. Блок-схема системы контроля толщины упрочненного слоя:
1 - контролируемая деталь;
2 - измерительный преобразователь для измерения толщины упрочненного слоя;
3 - измерительный преобразователь для измерения воздушного зазора; 4 - датчик положения измерительного преобразователя 2; 5, 6, 7 - устройства обработки выходных сигналов датчиков; 8 - схема формирования напряжения выходной информации; 9 - схема формирования напряжения возбуждения.

При проходе детали 1 под измерительным преобразователем 3, последний формирует сигнал пропорциональный расстоянию между измерительным преобразователем и плоскостью детали. Этот сигнал обрабатывается устройством 7 и подается на блок формирования напряжения возбуждения 9 основного измерительного преобразователя 3. Таким образом, ток в катушке возбуждения измерительного преобразователя 2 находится в обратной зависимости от воздушного зазора между измерительным преобразователем 2 и поверхностью контролируемой детали.

Сигнал с основного измерительного преобразователя 2 снимают только тогда, когда он находится на середине детали. Для этой цели установлен измерительный преобразователь 4 (также токовихревого типа, который вырабатывает сигнал в тот момент, когда преобразователь находится у края



контролируемой детали).

В этой системе, помимо основного измерительного преобразователя 2, важную роль играет токовихревой измерительный преобразователь 3, который измеряет расстояние между нижней катушкой преобразователя и плоскостью обрабатываемой и одновременно контролируемой детали.

Линейность компенсации получается такова, что ее погрешность не превышает 1-3%. Такую линейность можно получить, применяя магнитные датчики, однако рациональным будет использовать в системе определения толщины упрочненного слоя измерительные преобразователи, действующие на едином физическом принципе. В этом случае упрощается техническая реализация системы и ее эксплуатационное обслуживание.

Основной измерительный преобразователь должен включаться на время его нахождения над обрабатываемой и контролируемой деталью. Этот промежуток времени определяется измерительным преобразователем 4 (рис. 5), который расположен на расстоянии равном половине ширины детали относительно основного измерительного преобразователя. В дальнейшем этот измерительный преобразователь называется преобразователем места. Его принцип действия также является токовихревым. Характер изменения его выходного сигнала при перемещении относительно контролируемой детали показан на рис. 6.

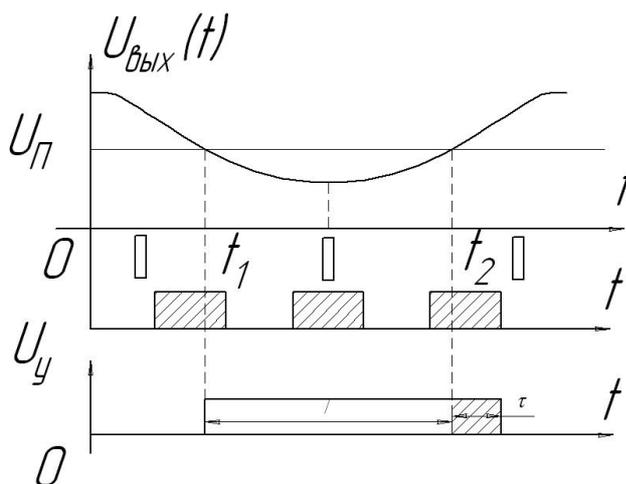


Рис. 6. Эпюры напряжения, поясняющие принцип работы измерительного преобразователя места.

На рис. 6 показано выходное напряжение измерительного преобразователя места в функции времени $U_{\text{аі}}(t)$ после его обработки устройством обработки сигналов измерительных преобразователей 5 (рис. 5). Под эпюрой этого напряжения показаны относительные положения измерительного преобразователя места и контролируемой детали в разные моменты времени.

В момент времени t_1 выходное напряжение измерительного преобразователя места становится равным пороговому напряжению $U_{\text{п}}$, при этом начинает формироваться напряжение управления $U_{\text{у}}$, которое представляет собой импульс длительностью T .

Импульс заканчивается в момент времени t_2 , то есть тогда, когда измерительный преобразователь выйдет из зоны взаимодействия с поверхностью контролируемой детали. Время t_2 является временем получения информации из основного измерительного преобразователя t , которое определяется скоростью перемещения детали в контейнере.

Импульс управления длительностью T служит также сигналом для счетчика контролируемых деталей, то есть устройством, идентифицирующим каждую деталь.

Сигнал, полученный во время t , от основного измерительного преобразователя анализируется в блоке 8 (рис. 5) по фазовому и амплитудному значению и запоминается до следующего полного оборота обоймы. При получении после полного оборота следующего сигнала происходит сравнительный анализ двух сигналов, что и позволяет определить изменение толщины слоя упрочненного материала.

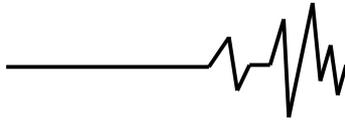
Конструктивные параметры измерительного преобразователя места следующие: $R_1=8\text{мм}$, $R_2=13\text{мм}$, $W_1=80$ витков, $W_2=120$ витков.

Все узлы устройств обработки сигналов взяты из серийно выпускаемой аппаратуры электромагнитного неразрушающего контроля.

Выводы

1. Предложен и научно обоснован электромагнитный метод контроля толщины упрочненного слоя крупногабаритных ферромагнитных изделий, который позволяет производить контроль, не прерывая технологического процесса виброобработки изделий.

2. Экспериментально определена



величина вносимого комплексного напряжения и ее зависимость от параметров измерительного преобразователя, что дает возможность рациональным образом выбрать параметры последнего.

3. Предложен электронный бесконтактный метод компенсации изменения зазора между основным измерительным преобразователем и поверхностью контролируемой детали.

Список литературы:

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. Под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1989. – 326 с.

2. Корзупин Г.С., Чистяков В.К., Соколятина И.П. Особенности контроля качества крупнозернистой анизотропной холоднокатаной стали, обусловленные неоднородностью кристаллографической структуры. – Дефектоскопия, 1999, № 11. – с. 38-44.

3. Комаров В.А. Информационные

особенности спектрально-гармонических моделей для бесконтактных методов оценки физико-механических свойств материалов. – Дефектоскопия, 2002, № 1. – с. 56-60.

4. Мужичкий В.Ф., Попов Б.Е. и др. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса стальных металлоконструкций грузоподъемных кранов. – Дефектоскопия, 1996, № 2. – с. 12-19.

5. Мужичкий В.Ф., Карабачевский В.А. Вихретоковый дефектоскоп ВД-89 НП. – Дефектоскопия, 2002, Я№ 11. – с. 55-59.

6. Дорофеев А.Л. Электроиндуктивная дефектоскопия. – М.: Машиностроение, 1987. – 231 с.

7. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики. – Новосибирск: Наука, 1997. – 144 с.

8. Романенко А.В., Мирошников В.В. Математическая модель поля датчика над ферромагнитной поверхностью // Вестник государственного университета Львовская политехника: Радиоэлектроника и телекоммуникации. – 2000, № 387. – с. 480-483.