

В интерактивном режиме проводятся анализ и диагностирование и в результате выдаются: протокол диагностирования дефектов подшипника (рис. 6); протокол диагностирования дефектов механизма; протокол диагностирования износа.

Механизм	3630	Подшипник	3630	Уровень износа
Возможные дефекты				
П	1.	Неуравновешенность ротора.		Начал
Е	2.	Овальность внутреннего кольца, радиальный натяг		Начал
Ф	3.	Раковина на наружном кольце		Начал
Е	4.	Зазор повышенный		Малый
К	5.	Ракловины на поверхности тела качения		Малый
Т	6.	Ракловины на внутренней кольце		Малый
И	7.	Старение смазки		Малый
Рекомендации по устранению дефектов				
	1.	Выполнить балансировку		
	2.	Заменить смазку		
	3.	Заменить подшипник		
	4.	Измерять вибрацию 1 раз в неделю (150 час)		
	5.	Измерять вибрацию 1 раз в месяц (750 час)		
	6.	Измерять вибрацию 1 раза в 2 месяца (1500 час)		
	7.	Проверить соосность (центровку)		XXXXXX

Рис. 6. Протокол диагностики дефектов подшипника

ЛИТЕРАТУРА

1. Вибродиагностика: моногр. / Г.Ш. Розенберг [и др.]; под ред. Г.Ш. Розенберга. – СИБ: ПЭНПК, 2003. – 284 с.

УДК 620.179.14

ВИХРЕТОКОВЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ДЕФЕКТОСКОП С МНОГОЭЛЕМЕНТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

А.В. Чернышев, И.Е. Загорский

¹ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Минск, Беларусь

В Институте прикладной физики НАН Беларуси проводятся работы по разработке аппаратуры для вихретоковой дефектоскопии. Например, был разработан, изготовлен и внедрен на Минском моторном заводе автоматизированный вихретоковый дефектоскоп с многоэлементным преобразователем, предназначенный для контроля чугунных гильз цилиндров дизельных двигателей. С его помощью в настоящее время проводится 100 % контроль

гильз, производимых на этом заводе. Гильзы имеют форму, подобную отрезку трубы, поэтому нет принципиальных трудностей для его применения при дефектоскопии труб. При разработке дефектоскопа решались проблемы, типичные для вихретоковой дефектоскопии, – обеспечить с высокой достоверностью выявление относительно малых дефектов (имеющих небольшие геометрические размеры протяженности, глубины, ширины раскрытия) при наличии различного рода мешающих факторов. Кроме этого, требовалось обеспечить относительно высокую производительность контроля при максимальной простоте его эксплуатации и автоматизированном процессе контроля. Рассмотрению указанных вопросов и посвящена данная работа.

Введение. Вихретоковый метод дефектоскопии основан на анализе электрического сигнала, возникающего в преобразователе дефектоскопа под действием вторичного электромагнитного поля вихревых токов, возникающих в объекте контроля под действием первичного электромагнитного поля возбуждения. К преимуществу этого метода можно отнести высокую производительность, особенно при контроле объектов цилиндрической формы (в частности, труб), когда при применении набора накладных преобразователей удастся обеспечить высокую чувствительность к различным дефектам сплошности и обеспечить контроль значительного по площади участка его поверхности за один оборот контролируемого объекта на 360 град. Понятно, что по мере роста числа преобразователей дефектоскопа увеличивается размер такого участка. Также при вихретоковом методе удастся довольно просто обеспечить автоматизированный режим контроля (его можно проводить бесконтактным методом, т.е. при отсутствии контакта между преобразователем дефектоскопа и контролируемым изделием); обнаружить подповерхностные дефекты; проводить приблизительную оценку размеров дефекта, в частности, его глубины. Ферромагнитные изделия после проведения контроля остаются в размагниченном состоянии, что, например, при контроле гильз цилиндров является обязательным условием.

Постановка задачи. При разработке дефектоскопа для контроля гильз цилиндров двигателя необходимо было обеспечить выполнение следующих условий. По техническим условиям на внутренней поверхности гильзы цилиндров не допускаются никакие дефекты сплошности металла, кроме точечной пористости, образующейся в результате выкрашивания графита и металлической основы по границам графитовых включений при механической обработке. Как показали исследования, основными видами дефектов в гильзах цилиндров являются в первую очередь трещины, а

металла. Так как все они могут иметь относительно небольшие геометрические размеры, то дефектоскоп должен обладать по возможности максимальной чувствительностью к дефектам сплошности. Однако трещины малой глубины, ширины раскрытия, мелкие поры, раковины, рыхлоты вызывают относительно небольшие изменения информационного электрического сигнала, по которому в дефектоскопе проводится контроль, относительно сигнала с бездефектного участка гильзы. Похожие изменения информационного сигнала могут вызывать вариации магнитной проницаемости, удельной электрической проводимости, которые всегда имеют место на практике при перемещении преобразователя по контролируемой поверхности гильзы цилиндра, изготовленной из чугуна, и которые относятся к так называемым мешающим факторам. Поэтому основной проблемой при разработке дефектоскопа было достижение максимально возможной чувствительности его к дефектам сплошности с максимально возможной отстройкой от влияния мешающих факторов. Кроме этого, необходимо было обеспечить максимальную простоту работы с дефектоскопом для оператора, т.е. в процессе работы с ним должны отсутствовать какие-либо настройки, регулировки, процесс контроля должен быть полностью автоматизирован. Также было необходимо обеспечить довольно высокую производительность контроля – требуется проверять не менее двух гильз в минуту.

Способ решения поставленной задачи. Для обеспечения требуемой производительности контроля в дефектоскопе имеются два держателя, в которых находится определенное число накладных преобразователей.

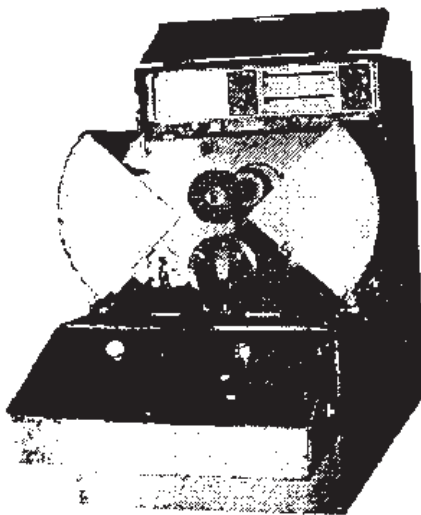


Рис. 1 Вихретоковый дефектоскоп, в измерительном отсеке которого установлена контролируемая гильза цилиндра

После размещения гильзы цилиндров в отсеке контроля дефектоскопа, как показано на рисунке 1 (где показан дефектоскоп), один держатель с набором преобразователей приближается к ее внутренней поверхности, а второй – к наружной. Затем гильза приводится во вращение на угол, несколько превышающий 360 град, в процессе которого проводится сканирование обеих поверхностей с целью обнаружения на них дефектов. В результате обеспечивается требуемая производительность дефектоскопа, время вращения гильзы цилиндра составляет 13 с.

В качестве преобразователей применены преобразователи трансформаторного типа, каждый из них содержит катушку переменного поля возбуждения и измерительную.

Необходимая чувствительность к дефектам сплошности достигается подбором резонансной частоты колебательного контура, создаваемого катушкой возбуждения и подключаемого к ней конденсатора.

Резонансная частота выбирается такой, чтобы изменения вносимых в катушку поля возбуждения сопротивлений (как активного, так и реактивного), которые происходят при перемещении преобразователя из бездефектной области гильзы в область с дефектом сплошности ее материала, приводили к изменению амплитуды эдс измерительной катушки в одном и том же направлении, например, к ее возрастанию.

Для исключения каких-либо подстроек в процессе работы с дефектоскопом был применен динамический режим работы [1], позволяющий использовать модуляционный метод выделения информации [2], получаемой с измерительной катушки преобразователя в процессе сканирования поверхностей гильзы. Более конкретно данный способ был осуществлен следующим образом. Каждый преобразователь питается переменным током возбуждения от отдельного генератора, а напряжение с каждой измерительной катушки преобразователя анализируется в своем отдельном измерительном канале. Переменное напряжение с измерительной катушки преобразователя поступает на вход амплитудного детектора, после которого оно поступает на вход фильтра верхних частот, не пропускающий постоянную составляющую входного напряжения, ослабляющий его низкочастотные составляющие. Частота среза этого фильтра определяется по результатам анализа сигналов, полученных при проведении измерений на гильзах цилиндров в процессе наладки дефектоскопа. Сущность достигаемого в этом случае улучшения отношения сигнал от дефекта к сигналу от помехи (сигнал/помеха) состоит в том, что эти сигналы различаются частотными спектрами. Обычно дефекты характеризуются большей локальностью, чем различные структурные неоднородности в материале гильзы, в которых наблюдаются непостоянство магнитных и электрических параметров. В результате сигнал от дефекта имеет более широкополосный частотный спектр, чем сигнал от неоднородностей, в котором преобладают низкочастотные составляющие. После прохождения через фильтр верхних частот с оптимально подобранной частотой среза достигается повышение отношения сигнал/помеха. Пример сигнала, полученного на выходе фильтра верхних частот, в зависимости от угла поворота гильзы, совершающей вращение с постоянной угловой скоростью, показан на рисунке 2 (на сигналы от дефекта указывают надписи на рисунке).

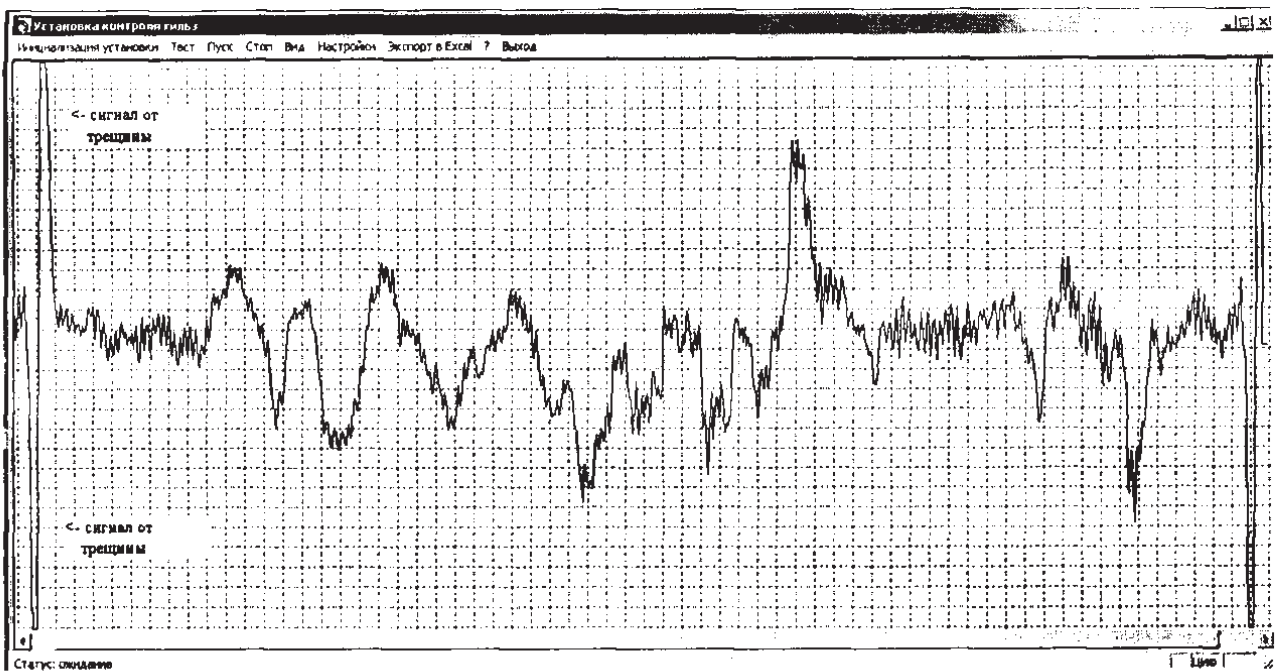


Рис. 2. Сигнал на выходе фильтра верхних частот в зависимости от угла поворота гильзы

В данном случае время, в течение которого проводились измерения, превышало период вращения гильзы, поэтому на рисунке 2 имеются два сигнала от дефекта (они расположены в левой области рисунка и в правой). Остальные локальные максимумы, минимумы амплитуды выходного напряжения преобразователя вызваны непостоянством магнитных и электрических параметров материала гильзы на разных ее участках, т.е. являются помехами. В данном случае дефектом является искусственный узкий паз длиной 9 мм, глубиной 0,5 и шириной 0,3 мм. По мере уменьшения глубины дефекта, ширины его раскрытия, при наличии над дефектом слоя металла (т.е. дефект подповерхностный) амплитуда сигнала от него на выходе фильтра становится все меньше. Она может быть намного меньше амплитуды сигнала от помехи. Кроме этого, сигнал от помехи может иметь амплитуду, превышающую амплитуду от относительно «большого» дефекта. Поэтому проводить контроль просто по достижению амплитудой сигнала на выходе фильтра верхних частот некоторого порогового значения не удастся, необходимы дополнительные критерии для распознавания сигналов от дефекта сплошности и сигналов, возникающих из-за непостоянства магнитных и электрических параметров материала гильзы цилиндра. Один из таких критериев основывается на том, что в процессе пересечения преобразователем локального дефекта сплошности на выходе фильтра верхних частот формируются два импульсных сигнала примерно равной амплитуды, но разной полярности (см. рис. 2). При этом предварительно определяется, какой полярности должен быть первый по времени возникновения импульсный сигнал, когда преобразователь пересечет дефект сплошности [3].

Наилучший результат в вопросе распознавания сигналов от дефектов на фоне сигналов от различных мешающих факторов удастся получить при анализе сигнала, получаемого на выходе фильтра верхних частот в процессе сканирования контролируемой поверхности, при помощи компьютера с использованием специальной программы, в которой необходимо учесть особенности, которые зависят от конкретной решаемой задачи.

Для выявления трещин, имеющих глубину порядка 0,2 мм, частота поля возбуждения должна составлять несколько сотен килогерц. Однако при такой частоте оказывается низкой чувствительность к подповерхностным дефектам. Для выявления таких дефектов в области гильзы, где она испытывает максимальную нагрузку при эксплуатации, наряду с высокой применяется и более низкая частота поля возбуждения преобразователя – порядка нескольких килогерц. При этом контроль проводится не по амплитуде выходного напряжения преобразователя, а по амплитуде пятой гармонической составляющей этого напряжения, т.е. при частоте синусоидально-

го поля возбуждения, равной F . Контроль проводится по амплитуде напряжения, имеющего частоту $5F$, которое выделяется резонансным усилителем из выходного напряжения преобразователя.

Как показали исследования, при относительно низкой частоте поля возбуждения процентное изменение амплитуд высших гармонических составляющих выходной эдс накладного преобразователя при перемещении преобразователя с бездефектного участка гильзы на участок с трещиной намного (часто в разы) превышает такое изменение, которое наблюдается с амплитудой выходного (суммарного, не раскладываемого на гармонические составляющие) напряжения преобразователя.

Другими словами, в этом случае чувствительность амплитуд высших гармонических составляющих к дефектам оказывается намного больше, чем амплитуды суммарного выходного напряжения накладного преобразователя трансформаторного типа.

Способ измерения по амплитуде пятой гармоники не отличается от того, который применяется при измерениях по амплитуде суммарного выходного напряжения преобразователя – после амплитудного детектора напряжение поступает на вход фильтра верхних частот, после чего проводится анализ сигнала на его выходе.

Достигнутый результат. Правильность выбранных научных и технических путей для решения проблемы обнаружения дефектов сплошности материала гильз цилиндров дизельного двигателя подтверждена опытом эксплуатации дефектоскопа на Минском моторном заводе, где в настоящее время проводится 100 %-ный контроль изготавливаемых на этом заводе гильз.

Пример участка гильзы цилиндра с дефектом в виде сквозной трещины, обнаруженной разработанным дефектоскопом, показан на рисунке 3 (изломом гильзы на том участке, где находится трещина). Она имеет более темный цвет относительно участка, где до проведения излома был сплошной металл и который на рисунке выглядит более светлым участком.

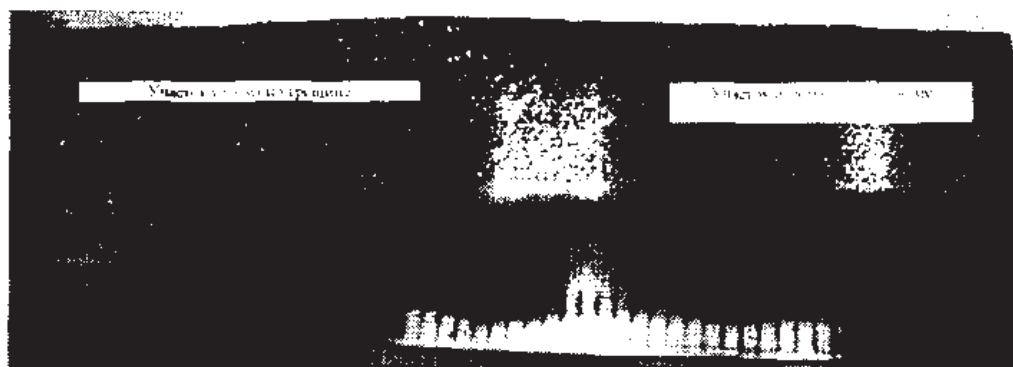


Рис. 3. Излом участка гильзы цилиндра с трещиной

Можно отметить, что в данном случае трещина была совершенно неразличима при визуальном осмотре гильзы. Это вызвано как малой шириной ее раскрытия, так и тем, что контроль гильзы цилиндра проводится после токарной обработки ее наружной поверхности и хонингования внутренней поверхности. В результате происходит так называемое завальцовывание краев трещины, что часто исключает ее обнаружение при визуальном осмотре.

Дефектоскоп обнаруживает трещины, глубина которых превышает 0,2 мм, и протяженность 5 мм.

Если в процессе сканирования гильзы цилиндра под каким-либо преобразователем обнаруживается дефект, то вращение гильзы прекращается, а на табло дефектоскопа (размещено на его лицевой панели, см. рис. 1) световой индикатор показывает, под каким преобразователем обнаружен дефект. Если он не виден при визуальном осмотре, то данная область гильзы цилиндра обследуется при помощи портативного дефектоскопа с накладным преобразователем карандашного типа, также изготовленного в ИПФ НАН Беларуси. В процессе сканирования в ручном режиме выделенного участка гильзы устанавливается точное место, где имеется дефект сплошности, и его протяженность.

Основная проблема при разработке дефектоскопа – способность различать сигналы от дефектов сплошности и от различных структурных неоднородностей, которые всегда присутствуют, как показали исследования, в материале гильз, изготавливаемых из высокопрочного чугуна.

Данный дефектоскоп может применяться и для обнаружения дефектов сплошности в ферромагнитных трубах различного диаметра. При этом возможно изготовление вихретокового дефектоскопа с автономным питанием, который при перемещении внутри трубы будет проводить контроль ее внутренней поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.
2. Герасимов, В.Г. Неразрушающий контроль: в 5 кн. / В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, В.В. Сухоруков. – М.: Высш. шк., 1992. – Кн. 3: Электромагнитный контроль: практ. пособие. – 312 с.
3. Вихретоковый автогенераторный дефектоскоп: пат. Респ. Беларусь № 1939 / А.В. Чернышев, И.Е. Загорский.