

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ (Обзор, ч. 1)

Г. М. СУЧКОВ, С. Ю. ПЛЕСНЕЦОВ

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». 61002, г. Харьков, ул. Кирпичева, 2.
E-mail: hpi.suchkov@gmail.com

Выполнен анализ информационных источников в области чувствительности ультразвукового неразрушающего контроля металлоизделий приборами и установками с электромагнитно-акустическими преобразователями. Установлено, что по сравнению с традиционным контактным методом контроля в своей области применения: контроль металлов без специальной подготовки поверхности, автоматический и автоматизированный контроль с высокой производительностью, электромагнитно-акустический контроль имеет заметные преимущества. Во многих случаях чувствительность дефектоскопии с применением электромагнитно-акустических преобразователей не уступает традиционному контактному методу, а в некоторых случаях даже превышает его. Библиогр. 17, табл. 5.

Ключевые слова: электромагнитно-акустический контроль, металлоизделие, чувствительность контроля, выявляемость дефектов, определение физико-механических характеристик металлоизделий, толщинометрия

В обзорных статьях [1, 2] выполнен анализ теоретических и практических подходов к созданию электромагнитно-акустических (ЭМА) преобразователей (ЭМАП). Установлено значительное увеличение количества и типов новых ЭМАП. Отмечено заметное расширение областей применения приборов и установок бесконтактного ультразвукового контроля с ЭМАП во многих странах мира. В то же время по-прежнему традиционно считается, что главным недостатком ЭМА преобразователей является низкая чувствительность к несоответствиям объектов контроля (ОК), выявление которых регламентируется нормативно-технической документацией. Причем в справочнике [3] указано, что чувствительность ультразвукового ЭМА метода при двойном преобразовании меньше, чем контактного на 4 порядка, а в работе [4], что на 3 порядка. Кроме того, в работе [3] утверждается, что коэффициент преобразования ЭМАП для излучения и приема по отдельности меньше, чем для пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) на 2 порядка. Алешин Н. П. и др. в работе [5] показали, что коэффициент двойного ЭМА преобразования отличается от такого же для ПЭП в 500...1000 раз, а коэффициенты для излучения и приема по отдельности отличаются между собой в 2 раза. При этом в работе [3, стр. 74] отмечается, что ЭМА методом уверенно обнаруживаются модели дефектов незначительного размера. Следует отметить, что Кавашима К. еще в 1976 г. [6] приводил данные о том, что выявляемость плоскодонного отражателя диаметром 1,3 мм ЭМАП и ПЭП практически одинакова. АО «Votum» серийно выпускает приборы ультразву-

© Г. М. Сучков, С. Ю. Плещнецов, 2018

кового контроля с ЭМА преобразователями, но при этом отмечает их недостаточную чувствительность? Из опубликованных противоречивых сведений следует необходимость анализа технических возможностей устройств, приборов и установок с ЭМА преобразователями по выявлению дефектов изделий и материалов.

Целью работы является анализ новых литературных источников и определение возможностей устройств с ЭМА преобразователями по чувствительности при измерениях, контроле и диагностике ОК.

Чувствительность ЭМАП при контроле эхо-методом. Главными требованиями к средствам ультразвукового контроля являются обнаружение дефектов, измерение толщины и определение физико-механических характеристик ОК. Выполнить эти требования возможно при обеспечении достаточной величины отношения амплитуд полезного сигнала и шума [3, 7]. Первичное отношение амплитуд полезного сигнала и шума, очевидно, зависит от коэффициента ЭМА преобразования, конструкции ЭМАП, характеристик аналоговой части ЭМА прибора и др.

Достаточно подробно вопрос эффективности ЭМА преобразования рассмотрен Буденковым Г. А. и Коробейниковой О. В. в статье [8]. Ими установлено следующее:

- коэффициент двойного преобразования для ПЭП с материалом ЦТС-19 не превышает 19 %;
- коэффициенты ЭМА преобразования в пределах 30 дБ отличаются в зависимости от химического состава стали и ее структурного состояния, а также от температуры ОК;
- при возбуждении ультразвуковых волн коэффициент ЭМА преобразования существенно

превышает аналогичный коэффициент ЭМА преобразования при приеме, что не согласуется, например, с данными работы [3].

Следует отметить, что выводы, полученные в статье [8], ограничиваются низким диапазоном частот для определенных типов волн, и не могут распространяться на общие условия исследования ЭМА преобразования. Это подтверждает вывод работы [1] об отсутствии на сегодня общей теории ЭМА преобразования.

Неволин О. В. и др. в статье [9], не описав конструктивных особенностей преобразователей, привели подробные данные о чувствительности комплекта ЭМА преобразователей различного назначения (табл. 1). Данные получены при выходной импульсной мощности приставки до 20 кВт. Судя по приведенным в статье рисункам, питание ЭМАП осуществлялось пакетными радиоимпульсами неуказанной длительности.

Анализ результатов, приведенных в табл. 1, говорит о сравнимой чувствительности ЭМАП и ПЭП при обнаружении дефектов. Следует отме-

тить, что диапазон частот недостаточен в высокочастотной его части.

Муравьева О.В. и др. в статье [10] привели данные о решении задачи контроля круглых прутков из рессорно-пружинной стали ЭМА методом путем анализа амплитуд импульсов многократных обеганий периметра. Экспериментально показана возможность обнаружения внутренних и поверхностных дефектов размерами более 0,1 мм. В этом случае чувствительность контроля превышает возможности дефектоскопии с помощью ПЭП.

ООО «УЛЬТРАКОН-СЕРВИС» разработало многоканальный ЭМА дефектоскоп ОКО-22М-ЕМА [11], в комплект которого входят ЭМАП со следующими частотами и углами ввода ультразвука: 0,5 МГц – углы ввода 0° и 90°; 1 МГц – углы ввода 0°, 45° и 90°; 2 МГц – углы ввода 0°, 45° и 90°; 4 МГц – углы ввода 0°, 45° и 90°; 5 МГц – углы ввода 0° и 45°; 6 МГц – угол ввода 0°; 8 МГц – угол ввода 0°. На сайте ООО «УЛЬТРАКОН-СЕРВИС» утверждают, что этот дефектоскоп с ЭМАП обеспечивает выявление плоскостного отража-

Т а б л и ц а 1. ЭМА преобразователи для универсальной ультразвуковой приставки [9]

Наименование преобразователя	Назначение	Чувствительность, соотношение сигнал/шум (с/ш)	Рабочая частота, МГц
Классические ЭМАП для возбуждения и регистрации волн по нормали к поверхности объекта контроля	Регистрация дефектов эхо-методом и зеркально-теневым методом	Торцевое сверление диаметром 3 мм при с/ш 16 дБ	2,5...0,15
Неклассические ЭМАП с подвижным полюсом для возбуждения и регистрации волн по нормали к поверхности объекта контроля	Регистрация дефектов эхо-методом и зеркально-теневым методом	Торцевое сверление диаметром 3 мм при с/ш 26 дБ	2,5...0,15
ЭМАП волн SV под различными углами к поверхности объекта контроля с постоянным полем подмагничивания	Регистрация трещин в трубах, листах и т.п.	5 % толщины стенки при с/ш 10 дБ	2,0...0,15
ЭМАП волн SV под различными углами к поверхности с импульсным полем подмагничивания	Регистрация трещин в трубах, листах и т. п.	5 % толщины стенки при с/ш 20 дБ	2,0...0,15
ЭМАП волн Рэлея и Лэмба с постоянным полем подмагничивания	Регистрация поверхностных и внутренних дефектов в листах и трубах	5 % толщины стенки при с/ш 10 дБ	1,0...0,15
ЭМАП волн Рэлея и Лэмба с импульсным полем подмагничивания	Регистрация поверхностных и внутренних дефектов в листах и трубах	5 % толщины стенки при с/ш 20 дБ	1,0...0,15
ЭМАП волн SH с импульсным полем подмагничивания	Регистрация поверхностных и внутренних дефектов в листах и трубах	5 % толщины стенки при с/ш 16 дБ	1,0...0,15
Классические ЭМАП для возбуждения и регистрации волн по нормали к поверхности объекта контроля с вращающимся полюсом	Измерение анизотропии и дефектометрия	Устойчивое распознавание радиальных и торцевых сверлений диаметром 3 мм	2,5...0,15
Классические ЭМАП с вращающимся вектором поляризации смещения (без вращения полюса)	Измерение анизотропии и дефектометрия	Устойчивое распознавание радиальных и торцевых сверлений диаметром 3 мм	2,5...0,15
Неклассические ЭМАП с вращающимся вектором поляризации смещения	Измерение анизотропии и дефектометрия	Устойчивое распознавание радиальных и торцевых сверлений диаметром 3 мм	2,5...0,15
ЭМАП с комбинированными постоянными и импульсными полями	Измерение дефектов в протяженных объектах	–	–

теля диаметром 2 мм на глубине 136 мм (ЭМАП 4 МГц 0°, контроль прутка диаметром 140 мм) и выявление паза глубиной 0,5 мм и протяженностью 10 мм (ЭМАП 2 МГц 45°, контроль прутка диаметром 140 мм). Эти данные также подтверждают высокую чувствительность контроля ЭМАП.

Предприятие АКС разработало ультразвуковой томограф ЭМА-АР с приемными и передающими 16 элементными антенными решетками, использующий SH тип волн и работающий на частоте 0,5 МГц [12]. За счет применения технологии импульсного подмагничивания отсутствует эффект налипания ферромагнитных частиц на рабочую поверхность ЭМА преобразователя. Для реальных внутренних дефектов получены отраженные эхо-сигналы и после их цифровой фокусировки сформированы образы сечений стенки трубы, позволяющие оценить тип и высоту дефекта. Данная технология дает возможность решить задачу ультразвукового контроля сварных швов без применения контактной жидкости. Устройство надежно обнаруживает в образце трубы толщиной 18 мм пропилен вдоль продольной оси глубиной 2 мм. Очевидно, что данное направление использования ЭМАП является очень перспективным.

Авторы работы [13] использовали для контроля листов из алюминия ЭМА преобразователи, возбуждающие и принимающие волны Лэмба. Контрольно-измерительное устройство содержит несколько преобразователей, расположенных определенным образом. Возбуждение и прием ультразвуковых импульсов осуществляется по разработанной программе, что позволяет исключить «мертвую» зону. Прибор позволяет обнаруживать дефекты, эквивалентные сквозному отверстию диаметром 2 мм и пазы длиной 4 мм, т.е. обеспечивается высокая чувствительность контроля.

В статье [14] подробно рассмотрены возможности по обнаружению внутренних и поверхностных дефектов с применением ЭМА преобразователей. Показано, что объемными сдвиговыми линейно поляризованными импульсами длительностью до 6 периодов частоты заполнения в диа-

пазоне 1,5...2,5 МГц в рельсах на расстояниях до 170 мм гарантировано выявляются модели дефектов, эквивалентные плоскодонному отражателю диаметром 1 мм и более. Без применения каких либо методов обработки отношение амплитуд эхо-сигнала и шума составляло 3...24 раз для плоскодонных отражателей диаметром 1...4 мм. При измерениях зазор между ЭМАП и металлом составлял 0,2 мм.

Для оценки чувствительности применения наклонных ЭМАП с углом ввода 37° импульсами волн SV типа в сталях прямым и однократно отраженным лучом гарантировано обнаруживались канавки глубиной 0,9 мм и более и угол, образованный отверстием диаметром 6 мм с плоскостью поверхности образца, при отношении амплитуд эхо-сигнала и шума, достигающем 40 дБ [14].

Для контроля толстых алюминиевых плит авторы публикации [15] разработали прибор с ЭМА преобразователем, высокочастотная катушка которого выполнена в виде спирали. Согласно результатам эксперимента контрольное устройство может обнаруживать отверстия с плоским дном диаметром 1,2 мм на глубине 60 мм.

Значительный объем информации по выявляемости дефектов ЭМАП приведен в работе [16]. Исследования проведены с использованием широкого диапазона ультразвуковых колебаний – от 2 до 5 МГц. Полные исследования выполнены на частоте 2,3 МГц. Результаты исследований отрезка рельса Р65 (высота 180 мм) АО МК «Азовсталь» приведены в табл. 2.

Исследованная рельсовая проба до изготовления отражателей характеризовалась хорошими акустическими характеристиками. Флуктуация ослабления упругих колебаний по длине не превышала 1 %. Высокое качество металла позволило уверенно выявлять плоскодонные отражатели диаметром 0,9 мм и более на глубине от 7,9 до 169,5 мм. Для сравнения провели исследования пробы с помощью серийного дефектоскопа УД2-12, уверенно зафиксировав плоскодонные отражатели диаметром 2 мм и более.

Результаты исследований пробы круглой горячекатаной заготовки диаметром 230 мм (Днепропетровский МК им. Дзержинского, Украина) приведены в табл. 3.

Таблица 2. Результаты исследований по обнаружению плоскодонных отражателей в рельсовом образце

Зона контроля	Диаметр плоскодонного отражателя, мм	Расстояние до отражателя, мм	Отношение амплитуд эхо-сигнал/шум, раз
Зона, ограниченная шейкой рельса и его высотой	4	169,5	>33 (сигнал ограничен)
	3	158	27
	2	162	11
	0,9	164	3,5
Головка рельса со стороны одной боковой грани	3	62	30
	2	60,5	17
	0,9	59	6
Шейка рельса сбоку в центральной части	3	8,5	15
	2	7,9	7
	0,9	8,2	2

Таблица 3. Результаты исследований выявляемости цилиндрических отражателей в круглой горячекатаной заготовке

Диаметр бокового цилиндрического отражателя, мм	Расстояние до отражателя, мм	Отношение амплитуд эхо-сигнал/шум, раз
1	30	23
1,5	28	22
2,5	8	16
2,5	10,3	12
2,5	27	32,5
2,5	48	12,5
2,5	60	11
2,5	115 (центр заготовки)	2 до 3-х из некоторых точек периметра

Исследования акустических свойств показали, что образец круглой заготовки диаметром 230 мм имеет много участков с повышенным ослаблением ультразвуковых импульсов. Такие участки расположены случайным образом по сечению металла и по длине. В центральной части заготовки зона повышенного ослабления ультразвуковых импульсов в диаметре достигала 60...90 мм в зависимости от направления озвучивания. В других заготовках, в том числе и НЛЗ, центральные части также обладают повышенным ослаблением ультразвуковых импульсов. Отмеченные особенности обуславливают неравномерность чувствительности как по сечению, так и по длине заготовки. Но во всех случаях боковые отражатели диаметром 2,5 мм на глубине от 8 до 115 мм и диаметром 1 мм на глубине от 8,2 до 30 мм обнаруживаются надежно.

Результаты исследований горячекатаной квадратной заготовки 127×127 мм из стали 45 приведены в табл. 4. Центральная часть этой заготовки также имеет зону повышенного в два-три раза ослабления ультразвуковых импульсов. Обнаружены локальные участки с повышенным ослаблением упругих колебаний по сечению и длине заготовки.

Таблица 5. Результаты исследований выявляемости плоскодонного отражателя диаметром 2 мм и «мертвой» зоны контроля

Образец	Частота, МГц	$A_{\text{дон}}/A_{\text{ш}}$, раз	$A_{\text{эхо}}/A_{\text{ш}}$, раз	Расстояние до дефекта, мм	«Мертвая» зона, мм
Латунный стержень диаметром 24,8 мм	2,5	20	11	14	6,2
Лист алюминиевый толщиной 7,9 мм	4,1	38	15	4,6	3,9
Лист из стали 45 толщиной 11 мм	2,3	35	22,5	8	6
Лист дюралюминиевый толщиной 20 мм	3	30	12,5	13,7	6,2
Сталь нержавеющая толщиной 7 мм	3	15	6,5	5	4
Отбеленный чугунок толщиной 14,4 мм	3	32,5	-	Отражателя нет	5,6
Рельсовая сталь толщиной 16,7 мм	2,5	48	23	8,2	5,1
Головка рельса Р65	2,5	22	10	43,9	6,7
Лист из стали 09Г2С толщиной 40 мм	2,3	30	7,5	20	5,5
Пруток калиброванный диаметром 10,25 мм из стали 40Х13	3	30	23	6,8	4,1
Пруток калиброванный диаметром 8 мм из стали ШХ15	3	32	22	5,2	4
Медный стержень диаметром 32 мм	2,2	21	10	9,6	5,2

Примечание: Под «шумом» здесь принято считать все типы шумов и помех, зафиксированных аппаратурой.

Таблица 4. Результаты исследований выявляемости цилиндрических отражателей в горячекатаной квадратной заготовке

Диаметр плоскодонного отражателя, мм	Расстояние до отражателя, мм	Отношение амплитуд эхо-сигнал/шум, раз
4	115	10
3	113	5
2	115	3

Так как металл объектов, исследуемых ЭМА способом, является элементом преобразователя, то следует ожидать влияния свойств этих материалов на результаты измерений и, соответственно, неразрушающего контроля. В известной литературе не удалось обнаружить сведений о влиянии материала на выявляемость внутренних дефектов. Поэтому выполнены экспериментальные исследования чувствительности ЭМА способа при контроле образцов из различных материалов [17]. Во всех исследованных образцах для получения одинаковых результатов изготовлены плоскодонные отражатели диаметром 2 мм. Для исследований был изготовлен макет ЭМА дефектоскопа, позволяющий возбуждать и принимать ультразвуковые импульсы в диапазоне 1...5 МГц длительностью 1...10 периодов частоты заполнения и частотой следования до 2,8 кГц. Дефектоскопический стенд снабжен прямыми ЭМАП на частоту от 2 до 5 МГц. Рабочая зона ЭМАП 7×12 мм². Индукция поляризирующего магнитного поля – 1,35 Тл. Масса преобразователей составляла менее 75 грамм. Результаты выполненных исследований приведены в табл. 5.

В табл. 5: $A_{\text{дон}}/A_{\text{ш}}$ – отношение амплитуд первого донного импульса и шума; $A_{\text{эхо}}/A_{\text{ш}}$ – отношение амплитуд эхо-сигнала и шума.

Анализ приведенных данных позволяет сделать вывод о том, что практически во всех наиболее часто используемых материалах, ЭМА способом возбуждаются и принимаются ультраз-

вуковые импульсы с амплитудой, достаточной для обнаружения плоскодонных отражателей диаметром 2 мм и более. При этом «мертвая» зона составляет 3,9...6,7 мм. Установлено, что подстройка режима работы ЭМА дефектоскопа на контроль конкретного материала позволяет уменьшить величину «мертвой» зоны до 3...4 мм.

При выполнении исследований обнаружен металл (ЛС63) с высокой электропроводностью, в котором амплитуда полезного сигнала на частотах 1...4 МГц, как минимум, на 40...50 дБ меньше, чем у известных материалов. Такой металл целесообразно использовать для изготовления акустических экранов ЭМАП.

Сравнительные исследования этих же образцов с помощью серийного дефектоскопа УД2-12 показали, что его чувствительность не превышает чувствительности ЭМА дефектоскопа. Более того, для дефектоскопии стержней приходится притирать пьезоэлектрические преобразователи. Для контроля всех образцов ЭМА дефектоскопом применен ЭМА преобразователь без изменения его конструкции.

Выводы

1. Из результатов приведенных исследований можно сделать вывод, что в подавляющем числе наиболее распространенных электропроводных и (или) ферромагнитных материалов ЭМА способом обнаруживаются плоскодонные отражатели диаметром 1 мм и более чувствительностью, не уступающей чувствительности ПЭП.

2. При исследованиях обнаружен металл (ЛС63) с высокой электропроводностью, в котором амплитуда полезного сигнала на частотах 1...4 МГц, как минимум, на 40...50 дБ меньше, чем у известных материалов. Проводить контроль изделий из такого металла ЭМА способом практически невозможно. Обнаружение металла, в котором импульсы упругих колебаний ЭМА способом практически не возбуждаются, позволило изготовить эффективные электромагнитные экраны для малогабаритных ЭМАП, работающих в совмещенном режиме.

Список литературы

- Плеснецов С. Ю., Сучков Г. М., Корж А. И., Суворова М. Д. (2018) Новые теоретические исследования и разработки в области электромагнитно-акустического преобразования (Обзор). *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 2, 24–31.
- Сучков Г. М., Плеснецов С. Ю., Корж А. И. и др. (2018) Новые разработки электромагнитно-акустических преобразователей. (Обзор). *Там же*, 3, 27–34
- Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. (2004) Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Клюев В. В. (ред.). Т.3: *Ультразвуковой контроль*. Москва, Машиностроение.
- Цапенко В. К., Куц Ю. В. (2010) *Основи ультразвукового неруйнівного контролю*. Підручник. Київ. НТУУ «КПІ».
- Алешин Н. П., Белый В. Е., Вopilkin А. Х. и др. (1989) *Методы акустического контроля металлов*. Алешин Н. П. (ред.). Москва, Машиностроение.
- Kawashima K., McClung R. (1976) Electromagnetic ultrasonic transducer for generating and detecting longitudinal waves (with a small amount of radials polarized transverse. *Materials Evaluation*, 34, 4, 81–90.
- Сучков Г. М., Петрищев О. Н., Хомяк Ю. В. (2015) *Теория и практика электромагнитно-акустического контроля. Часть 3. Методы и средства повышения чувствительности ультразвукового контроля ЭМА способом*. Харьков, Щедра садиба плюс.
- Буденков Г.А., Коробейникова О. В. (2009) Влияние химического состава и температуры металлов на эффективность электромагнитно-акустического преобразования. *Там же*, 4, 40–49.
- Астафьев А. Н., Неволин О. В., Мамай А. М. и др. (2006) Универсальная приставка для стандартных ультразвуковых дефектоскопов и толщиномеров. *Там же*, 7, 73–82.
- Муравьева О. В., Муравьев В. В., Стрижак В. А. и др. (2013) Реальная чувствительность входного акустического контроля прутков-заготовок при производстве пружин. *В мире неразрушающего контроля*, 1, 62–70.
- <http://www.ultracon-service.com.ua/index.php/ru/flaw-detectors/item/85-ema-ultrazvukovoj-defektoskop-oko-22m-ma>.
- <http://docplayer.ru/45792425-Vozmozhnosti-i-sposoby-izmereniya-glubiny-krn-ultrazvukovym-metodom-nerazrushayushchego-kontrolya.html>.
- Guo-fu Zhai, Bo Liu, Chao-ran Deng et al. (2014) An inspection device based on multiple Lamb wave electromagnetic acoustic transducers. *IEEE Far East Forum on Nondestructive Evaluation. Testing. IEEE Conference Publications*, pp. 14–18, DOI: 10.1109/FENDT.2014.6928225
- Сучков Г. М., Донченко А. В. (2007) Реальная чувствительность ЭМА приборов. *Дефектоскопия*, 6, 43–50.
- Yakun Wang, Pengzhan Li, Bo Liu, Guofu Zhai. (2013) *A portable inspection instrument based on electromagnetic acoustic transducers. Far East Forum on Nondestructive Evaluation. Testing: New Technology*, pp. 192–196, DOI: 10.1109/FENDT.20.
- Сучков Г. М., Петрищев О. Н., Хащина С. В. и др. (2013) Повышение возможностей бесконтактной дефектоскопии поверхности катаных ферромагнитных изделий. *Контроль. Диагностика*, 4, 31–35.
- Сучков Г. М. (2005) *Развитие теории и практики создания приборов для электромагнитно-акустического контроля металлоизделий*: дис. д-ра техн. наук. Харьков, НТУ «ХПИ».

References

- Plesnetsov, S.Yu., Suchkov, G.M., Korzh, A.I., Suvorova, M.D. (2018) New theoretical investigations and developments in the field of electromagneto-acoustic transformation (Review). *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 2, 24–31 [in Russian].
- Suchkov, G.M., Plesnetsov, S.Yu., Korzh, A.I., Suvorova, M.D., Yudanova, N.N. (2018) New developments of electromagneto-acoustic transducers (Review). *Ibid.*, 3, 27–34 [in Russian].
- Ermolov, I.N., Lange, Yu.V. (2004) Non-destructive testing: Handbook. In: 7 Vol. Ed. by V.V. Klyuev. V. 3: *Ultrasonic testing*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
- Tsapenko, V.K., Kuts, Yu.V. (2010) *Fundamentals of non-destructive ultrasonic testing: Handbook*. Kyiv: NTUU KPI [in Ukrainian].
- Aleshin, N.P., Belyy, V.E., Vopilkin, A.Kh. et al. (1989) *Methods of acoustic testing of metals*. Ed. by Aleshin, N.P. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
- Kawashima, K., McClung, R. (1976) Electromagnetic ultrasonic transducer for generating and detecting longitudinal waves (with a small amount of radials polarized transverse. *Materials Evaluation*, 34(4), 81–90.
- Sychkov, G.M., Petrishchev, O.N., Khomyak, Yu.V. (2015) Theory and practice of electromagneto-acoustic testing. Pt 3: *Methods and means of increase of sensitivity by ultrasonic EMA testing*. Kharkov, Shchedra Sadyba Plus [in Russian].
- Budenkov, G.A., Korobeynikova, O.V. (2009) The influence of metal chemical structure and temperature on efficiency of

- electromagneto-acoustic transformation. *Defektoskopiya*, **4**, 40-49 [in Russian].
9. Astafiev, A.N., Nevolin, O.V., Mamaj, A.M. et al. (2006) Universal add-on for standard ultrasonic defectoscopes and thickness gauges. *Ibid.*, **7**, 73-82 [in Russian].
 10. Muraviova, O.V., Muraviov, V.V., Strizhak, V.A. et al. (2013) Real sensitivity of input acoustic testing of rod samples in spring production. *V Mire Nerazrushayushchego Kontrolya*, **1**, 62-70 [in Russian].
 11. <http://www.ultracon-service.com.ua/index.php/ru/flaw-detectors/item/85-ema-ultrazvukovoj-defektoskop-oko-22m-ema> [in Russian].
 12. <http://docplayer.ru/45792425-Vozmozhnosti-i-sposoby-izmereniya-krn-ultrazvukovym-metodom-nerazrushayushchego-kontrolya.html> [in Russian].
 13. Guo-fu Zhai, Bo Liu, Chao-ran Deng, Yong-qian Li, Lei Kang (2014) An inspection device based on multiple Lamb wave electromagnetic acoustic transducers. In: *Proc. of 2014 IEEE Far East Forum on Nondestructive Evaluation/Testing*, 14-18. DOI: 10.1109/FENDT.2014.6928225.
 14. Suchkov, G.M., Donchenko, A.V. (2007) Actual EMA-device sensitivity. *Defektoskopiya*, **6**, 43-50 [in Russian].
 15. Yakun Wang, Pengzhan Li, Bo Liu, Guofu Zhai (2013) A portable inspection instrument based on electromagnetic acoustic transducers. In: *Proc. of 2013 IEEE Far East Forum on Nondestructive Evaluation/Testing: New Technology*, 192-196. DOI: 10.1109/FENDT.2013.6666666.
 16. Suchkov, G.M., Petrishchev, O.N., Khashchina, S.V. et al. (2013) The increase in functionality of no-contact defect detection for roll-formed ferromagnetic products. *Kontrol. Diagnostika*, **4**, 31-35 [in Russian].
 17. Suchkov, G.M. (2005) *Development of theory and practice in electromagnetic-acoustic testing device building for metal product testing*. In: Syn. of Thesis for Dr. of Techn. Sci. Degree. Kharkov, NTU KhPI [in Russian].

ЧУТЛИВІСТЬ КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ (Огляд, ч.1)

Г. М. СУЧКОВ, С. Ю. ПЛЕСНЕЦОВ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.
E-mail: hpi.suchkov@gmail.com

Виконано аналіз інформаційних джерел в області чутливості ультразвукового неруйнівного контролю металовиробів приладами і установками з електромагнітно-акустичними перетворювачами. Встановлено, що в порівнянні з традиційним контактним методом контролю в своїй галузі застосування: контроль металу без спеціальної підготовки поверхні, автоматичний і автоматизований контроль з високою продуктивністю, електромагнітно-акустичний контроль має помітні переваги. У багатьох випадках чутливість дефектоскопії із застосуванням електромагнітно-акустичних перетворювачів не поступається традиційному контактному методу, а в деяких випадках навіть перевищує його. Бібліогр. 17, табл. 5.

Ключові слова: електромагнітно-акустичний контроль, металовиріб, чутливість контролю, виявлення дефектів, визначення фізико-механічних характеристик металовиробів, товщинометрія

SENSITIVITY OF TESTING VIA ELECTROMAGNETIC-ACOUSTIC TRANSDUCERS (OVERVIEW, P. 1)

G. M. SUCHKOV, S. YU. PLESNETSOV
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute».
61002, Kharkiv, 2 Kirpichova st.
E-mail: hpi.suchkov@gmail.com

The analysis of information sources in the field of sensitivity of ultrasonic non-destructive testing of metal products by instruments and devices with electromagnetic-acoustic transducers was performed. It is established that, in comparison to the traditional contact testing method in its field of application: the testing of metals without special surface preparation, automatic and automated testing with high productivity, EMA testing has significant advantages. In many cases, the sensitivity of flaw detection using EMAT is not inferior to the traditional contact method, and in some cases even exceeds it. 17 Re., 5 Tabl.

Key words: electromagnetic-acoustic control, metalware, testing sensitivity, detectability of defects, determination of physical-mechanical characteristics of metal products, thickness measurement.

Поступила в редакцию
17.09.2018

Новая книга

Физические процессы при сварке и обработке материалов. Теоретическое исследование, математическое моделирование, вычислительный эксперимент: Сб. статей и докладов под ред. акад. НАН Украины И.В. Кривцуна. — Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2018. — 642 с.

Сборник включает 86 статей и докладов сотрудников отдела физики газового разряда и техники плазмы Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, опубликованных за период 1978–2018 гг. В нем обобщен сорокалетний опыт научно-исследовательской деятельности отдела в области теоретического исследования и компьютерного моделирования физических явлений, протекающих при дуговых, плазменных, лазерных и гибридных процессах сварки, наплавки и напыления покрытий. Может быть интересен и полезен ученым, инженерам и технологам, занимающимся проблемами дуговой, плазменной, лазерной и гибридной сварки и обработки материалов, а также аспирантам и студентам, изучающим теоретические основы сварочных и родственных процессов.

Сборник можно заказать в редакции журнала «Автоматическая сварка».

