

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Г. М. СУЧКОВ, Е. А. АЛЕКСЕЕВ, В. В. ЗАХАРЕНКО

Рассмотрены вопросы создания бесконтактных ультразвуковых и вихретоковых приборов для дефектоскопии и толщинометрии без специальной зачистки поверхности изделий. Приведены примеры приборов, позволяющих экономить энергию и сохранять потребительские свойства изделий.

The questions of creation of non-contact ultrasonic and eddy-current devices for fault detections and measurements without special preparation of surface of wares are considered. The examples of such devices which allow to save energy and to save the using properties of wares are given.

Высокое качество выпускаемой продукции и обслуживания, находящегося в эксплуатации, обеспечивается путем применения сплошного неразрушающего контроля (НК) [1]. Наиболее часто используются акустические и вихретоковые (ВТ) методы и средства [2]. Применение традиционных ультразвуковых (УЗ) и ВТ методов и приборов требует высокого качества поверхности контролируемого материала [3, 4]. Обязательная тщательная зачистка поверхности приводит к потере слоя металла и защитного покрытия и, следовательно, к более быстрой потере потребительских свойств изделий. После проведения контроля защитные покрытия, в том числе лакокрасочные, необходимо восстанавливать. Проведение зачистки приводит к значительным затратам энергии. В конечном итоге имеют место существенные экономические и временные потери. Так, по данным ОАО «Харьковский котельно-механический завод» затраты на подготовку поверхности изделий к УЗ контролю равняются затратам на проведение самого контроля. По данным работы [5], затраты на зачистку листового проката перед УЗ контролем составляют 550 руб. РФ/т. Кроме того, УЗ контроль по зачищенной, как правило абразивными материалами поверхности приводит к быстрому выходу из строя пьезоэлектрических преобразователей.

В случае применения ВТ контроля ситуация еще более сложная, так как традиционные приборы не позволяют выполнять эффективный контроль по неподготовленной поверхности [6].

ЭМА дефектоскопия и толщинометрия. В последние годы быстрыми темпами развиваются методы и средства контроля, которые не требуют специальной подготовки поверхности изделий к контролю. В области УЗ контроля к таким методам можно отнести электромагнитно-акустический (ЭМА). Обзоры работ по использованию ЭМА метода и приборов даны в работах [7, 8]. Их анализ позволил установить, что наиболее эффективным

является применение ЭМА средств для автоматического контроля больших объемов изделий, например, катаных — рельсов, труб, листов, заготовок различного сечения и т. п., зачистка которых приводит к существенным энергетическим и ресурсным потерям. Кроме того, введение сплошного УЗ контроля приводит к резкому повышению технологической дисциплины при производстве изделий.

Первыми промышленными дефектоскопами для УЗ контроля с использованием ЭМА-способа были установки, внедренные с участием сотрудников НТУ «ХПИ» в 1983–1985 г.г. на ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат», ОАО «Кузнецкий металлургический комбинат» и ОАО «Металлургический комбинат «Азовсталь» (рис. 1). С 1983 г. до настоящего времени автоматический контроль зоны рельса, ограниченной толщиной шейки, проводится зеркально-теневым

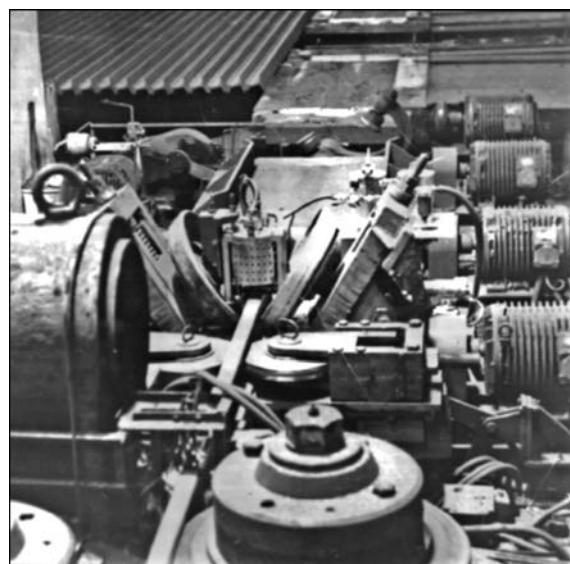


Рис. 1. Ультразвуковая автоматическая установка для контроля рельсов на ОАО «КМК» бесконтактным ЭМА способом (производительность — до 1 млн 300 тыс. т рельсов в год)



методом на скорости до 2 м/с. Критерием дефектности служит ослабление второго донного импульса на 10...14 дБ (на ОАО «Кузнецкий металлургический комбинат» и ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат») и первого донного импульса на 8...10 дБ (ОАО «Меткомбинат «Азовсталь»). Проконтролировано более 60 млн. т рельсов с поверхностью в состоянии после прокатки, т. е. без зачистки. В «брак» переведено около 2 % проконтролированных рельсов. Это позволило практически полностью исключить поломки рельсов на первичной стадии эксплуатации, обусловленные дефектами металлургического происхождения. Технология контроля была разработана автором работы [9].

Вторым эффективным направлением использования ЭМА метода является УЗ толщинометрия. Так, для контроля толщины цельнокатаных труб в четырех взаимно перпендикулярных плоскостях в 2000 г. разработан и введен в промышленную эксплуатацию автоматический ЭМА толщиномер (рис. 2). Прибор автоматически сортирует трубы на две категории качества при отклонении толщины стенки труб как в большую, так и в меньшую сторону от номинального значения. Контроль ведется без зачистки поверхности ввода/приема УЗ импульсов на скорости до 1 м/с.

Успехи использования ЭМА метода в автоматических системах контроля и острая потребность в экономии энергии и ресурсов интенсифицировали исследования и разработки в направлении создания портативных средств оценки качества изделий. Было установлено, что основной причиной, сдерживающей разработку эффективных ЭМА дефектоскопов, является традиционный подход к их построению. Многие удачные технологические и технические решения, полученные при разработке и эксплуатации автоматических дефектоскопических установок и толщиномеров, зачастую использовать невозможно. Учитывая тенденции по совершенствованию ЭМА дефектоско-



Рис. 2. Автоматический четырехканальный толщиномер ЗАО «НИКО ТЬЮБ» (г. Никополь) (скорость контроля — 1 м/с)

пов [8] и толщиномеров [7], повышение их чувствительности до уровня контактных дефектоскопов [10-11] были сформулированы и решены теоретические и практические аспекты поставленной проблемы [12]. Эти решения применены при создании двухканального ЭМА дефектоскопа (рис. 3). Один его канал предназначен для обнаружения внутренних дефектов в ферромагнитных и неферромагнитных изделиях и материалах импульсами УЗ сдвиговых линейно поляризованных колебаний длительностью 1–4 периода с частотой заполнения 1,8...7 МГц. Второй канал предназначен для дефектоскопии поверхностными и нормальными волнами в диапазоне частот 0,25...1,5 МГц. Этот канал также используется для наклонного ввода УЗ импульсов в металл. Второй канал снабжен миниатюрными высокочувствительными раздельно-совмещенными преобразователями для дефектоскопии изделий с округлой или плоской поверхностями, или поверхностью, имеющей изломы поверхности до 90°. При разработке этих ЭМАП удалось минимизировать усилие притяжения к ферромагнитному изделию, что существенно облегчило процесс сканирования.



Рис. 3. Двухканальный ЭМА дефектоскоп для ручного и механизированного УЗ контроля сдвиговыми и поверхностными волнами

Исследования работы нового ЭМА дефектоскопа позволили установить следующие его возможности. Он эффективно позволяет проводить контроль изделий из ферромагнитных материалов (сталь, чугун, сплавы) и неферромагнитных материалов (алюминий и его сплавы, сплавы на основе меди, некоторые сорта нержавеющей стали аустенитного класса, сплавы на основе титана и др.). При использовании специальных ЭМА преобразователей возможен контроль горячих и охлажденных ОК. Прибор позволяет обнаруживать объемными сдвиговыми волнами эхометодом в ОК (сталь 45) отражатели, эквивалентные плоскодонному сверлению диаметром 1,2 мм, с отношением амплитуд сигнал/шум не менее 5 раз, боковое отверстие диаметром 1 мм в прутке из латуни ЛС59 — 10...12 раз, в алюминии — плоскодонный отражатель диаметром 0,8 мм — 8...10 раз соответственно. «Мертвая» зона (в зависимости от материала ОК, состояния его поверхности и взаимного расположения ЭМАП и поверхности изделия) составляет 3...5 мм. ЭМА дефектоскоп, с помощью специальных ЭМАП контролирует ОК от поверхности до глубины 30 мм и более (сталь 45) т. е. без «мертвой» зоны. Одновременно с эхо методом дефектоскоп позволяет выполнять контроль зеркально-теневым и комбинированным методами, а также измерять толщину. Лучевая разрешающая способность достигает 0,5 мм. При контроле волнами Рэлея обнаруживаются дефекты на поверхности, эквивалентные пазу глубиной 0,2 мм и более, длиной 5 мм и более с раскрытием до 0,001 мм, а также сквозные отверстия в трубных изделиях диаметром 1 мм и более. Прибор по эхоканалу снабжен тремя уровнями срабатывания системы дефектоотметки с трехцветной индикацией и трехтональной звуковой индикацией, одним уровнем по зеркалнотеневому каналу, двумя уровнями по каналу измерения толщины, а также гальванически развязанным релейным выходом сигнализатора о дефектности. Разработанный ЭМА дефектоскоп используется как базовый для создания приборов для обнаружения внутренних и поверхностных дефектов рельсов, швеллеров, балок, труб, заготовок и прутков круглого и иного сечения, гибов различной формы, толщинометрии и определения физико-механических свойств материалов — как в условиях производства, так и в условиях эксплуатации. Ограничением является требование к ОК — он должен быть электропроводным и (или) ферромагнитным. При этом зачистка поверхности изделий перед проведением контроля не требуется.

Следует отметить, что применение ЭМА способа в новом дефектоскопе дает «второе дыхание» зеркально-теневому методу контроля. Это обусловлено высокой по сравнению с «мокрым» способом стабильностью амплитуд донных импуль-

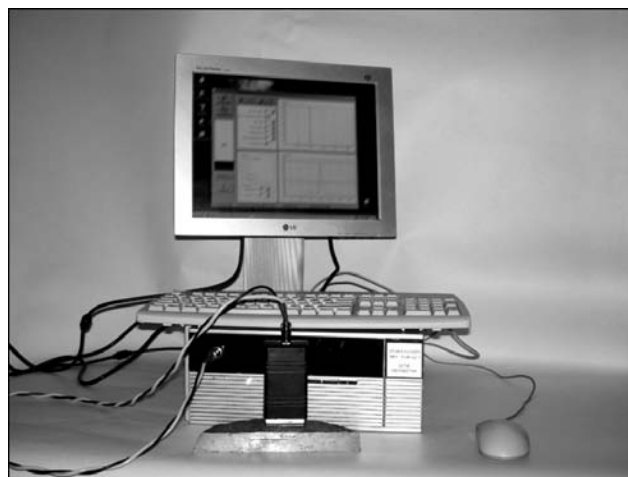


Рис. 4. ЭМА дефектоскоп для контроля изделий с сильно корродированной поверхностью ввода УЗ импульсов

сов сдвиговых колебаний при высокой чувствительности к дефектам структуры материала, не дающим эхосигналов достаточной интенсивности.

На базе описанной разработки изготовлен ЭМА дефектоскоп (рис. 4), предназначенный для обнаружения «водородных» и иных расслоений в металлах при сильно корродированной поверхности ввода УЗ без применения зачистки. Характер коррозионного поражения такой поверхности показан на рис. 5. Это подтверждает возможность экономии энергии и уменьшения расхода металла за счет применения таких дефектоскопов и толщиномеров.

Применение ЭМА способа для устройств с автономным питанием и малой массой требует особых подходов. Главным требованием к приборам такого типа является низкий расход энергии и малая масса. Следовательно, все устройства прибора должны соответствовать этим требованиям. В генераторе зондирующих импульсов (ГЗИ) толщиномера следует использовать элементы, которые работают в ключевом режиме класса *D* или аналогичном, при котором они не должны потреблять ток в режиме ожидания поступления управляющего импульса. Следовательно, достаточно проблематично использование в качестве усиливающих элементов биполярных транзисторов, имеющих значительные токи утечки. Оптимальным вариантом применения в качестве усиливающих элементов является использование полевых транзисторов фирмы «Toshiba» или фирмы «International Rectifier». Исследованиями установлено, что



Рис. 5. Образец с сильно корродированной поверхностью с дефектом типа «расслоение», обнаруживаемый ЭМА дефектоскопом



в ГЗИ можно использовать транзисторы типа IRF510, IRF530, IRF540, IRF710 и аналогичные. Экспериментальные исследования их возможностей позволили установить, что они могут работать в диапазоне частот до 4...8 МГц в составе усилителей мощности ГЗИ.

В усилителях для приема отраженных сигналов целесообразно использовать специализированные микросхемы типа AD603 и AD604 производства фирмы «Analog Devices», т. минимально потребляющие энергию при высоком соотношении полезный сигнал/шум. Упомянутые микросхемы позволяют управлять коэффициентом их усиления в широких пределах. Указанные характеристики реализованы при малых габаритах с применением SMD технологий.

Особые требования предъявляются к устройствам формирования зондирующего сигнала и цифровой обработки информации. Для формирования исходного «своего» сигнала в виде пакета с несколькими периодами заполнения с частотой до 8 МГц достаточно применить микропроцессор типа AT90S1200-16. В то же время установлено, что в качестве устройств для обработки принятого ЭМАП «своего» сигнала оптимально использовать современные микропроцессоры типа ADUC831, ADUC841, микроконвертеры типа 7026 производства фирмы «Analog Devices». Эти приборы позволяют по своим скоростным качествам проводить операции по вычислению автокорреляционных и взаимно корреляционных функций при низком потреблении энергии. Поэтому в толщиномере были применены одновременно AT90S1200-16 и ADUC841.

Выбор оптимальной элементной базы позволил создать переносной портативный ЭМА толщиномер, общий вид которого показан на рис. 6. Все операции подготовки и проведения измерений возложены на два микропроцессора. Поэтому прибор очень прост в управлении. Выполнение измерений происходит автоматически после нажа-

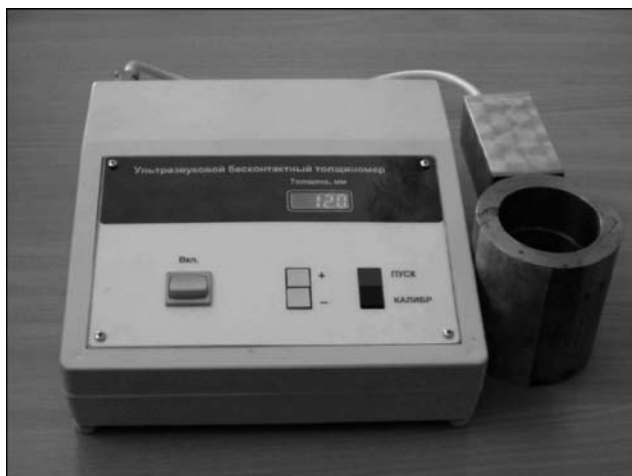


Рис. 6. ЭМА толщиномер для «ручного» контроля

тия кнопки «Пуск». Калибровка толщиномера на образце с известной толщиной проводится с помощью трех кнопок: «Калибровка», при этом загорается индикаторный светодиод, и кнопок «+» и «-». Кроме упомянутых кнопок и включателя других регуляторов не предусмотрено. (Частота и длительность зондирующих импульсов устанавливается регуляторами, размещенными на платах внутри корпуса.)

Экспериментальные исследования работы толщиномера позволили установить, что он работоспособен при зазорах между протектором ЭМАП и металлом до 3 мм. Это вывод подтверждается 100-кратными измерениями на образце, изготовленном из стали У8 толщиной 15,6 мм при частоте УЗК 3 МГц и длительности исходного импульса, равной трем периодам заполнения. Данные о вероятности правильного измерения толщины ОК от величины зазора между протектором ЭМАП и поверхностью образца приведены ниже:

Зазор между ЭМАП и ОК, мм	0,2	1	2	2,5	3	3,5
Вероятность правильного измерения, %	100	100	100	100	98	62

Временная стабильность работы нового толщиномера оказалась высокой. Его испытания на одном участке образца показали, что показания прибора в течение 8 ч не изменились. Измерения на том же участке серийным толщиномером УТ93П позволили установить необходимость выполнения его перекалибровки не реже, чем один раз в час.

При измерениях толщин ОК из различных материалов (стали Ст.3, стали 45, У7 и У8, алюминий и дюралюминий, 09Г2С, 12ХМ, трубные стали производства ЗАО «НИКО ТЬЮБ», стали обсадных труб нефтяного сортамента и аналогичные) в диапазоне толщин 3...27 мм установлено, что калибровка прибора на каждый тип материала не требуется, так как основная абсолютная погрешность не превышает $\pm 0,1$ мм. Очевидно, что для ниши в области толщинометрии, занимаемой ЭМА приборами (корродированные поверхности, грубая обработка, катаная поверхность с загрязнениями и т. д.), устанавливать большую точность и меньшую абсолютную погрешность не имеет смысла.

На результаты измерений разработанным прибором в значительно меньшей степени оказывает влияние неодинаковое время распространения УЗК в металле под рабочей зоной ЭМАП, а также когерентные дополнительные помеховые импульсы продольных и трансформированных волн.

Установлено, что, наличие на поверхности ОК в активной зоне ЭМАП скрепленной с поверхностью окалины при нормальной температуре увеличивает соотношение полезный сигнал/шум. Слой скрепленной окалины толщиной более



0,5 мм может увеличивать отношение полезный сигнал/шум до 90 дБ. Чем больше толщина окалины, тем больше амплитуда донных сигналов. Степень увеличения сигнала зависит также от состава окалины, ее температуры, технологии производства металла, воздействия на нее окружающей среды. При традиционном измерении толщины наличие не скрепленных с поверхностью ОК частиц окалины приводит к уменьшению соотношения амплитуд донный сигнал/шум и к появлению помех, амплитуда которых экспоненциально уменьшается с момента завершения зондирующего импульса. При использовании корреляционной обработки наличие отслоившейся окалины в зазоре между ЭМАП и металлом на погрешность измерений толщины практически не влияет.

Следует отметить, что наличие поверхностных дефектов оказывают слабое влияние на результаты измерений даже при значительном их развитии (при условии, что они не перекрывают акустическое поле). Наличие внутренних дефектов заметно сказывается на результатах измерений в случае, если они являются существенным препятствием для распространения импульсов упругих сдвиговых колебаний, например, расслоения, трещины, закаты и т. д.

Оценка влияния кривизны поверхности ОК на результаты толщинометрии показала следующее. Если общее значение расстояния между ЭМАП и металлом, обусловленное локальной кривизной и толщиной покрытия превышает 3 мм, то кривизна сказывается на точности и стабильности измерений.

Исследованиями установлено, что одним и тем же ЭМА преобразователем описанной конструкции удастся измерять толщину труб наружным диаметром 6 мм и более. При этом технологический зазор по ближайшему расстоянию не должен превышать 0,2 мм. При изготовлении ЭМАП с криволинейной поверхностью рабочего торца ограничений по кривизне ОК не возникает.

Характеристики толщиномера

Используемые волны	сдвиговые
	линейно поляризованные
Диапазон измеряемых толщин (по стали), мм	2...45 (200)
Допускаемая погрешность измерений (без зачистки поверхности), мм	±0,1
Дискретность измерения толщины или диаметра, мм	0,1
Мин. контролируемый диаметр, мм	6
Температура контролируемого изделия, °С	до 80 (600)
Температура окружающей среды, °С	-10...+50
Расстояние между ЭМА преобразователем и поверхностью контролируемого участка металла, мм	до 3
Питание	батареи
	типа «Крона» и пальчиковые
Время непрерывной работы, ч	10
Масса электронного блока толщиномера, кг	..1,4
Масса ЭМА преобразователя, кг	0,35

Таким образом, на основании выполненных исследований разработанных ЭМА приборов установлена их работоспособность при контроле изделий без дополнительных затрат энергии и неоправданных потерь металла и защитных покрытий.

Вихретоковая дефектоскопия. Электропроводные материалы и изделия, выпускаемые и эксплуатируемые в промышленности, часто содержат дефекты структуры типа трещин, плен, пор, волосовин, закатов и т. д., которые выходят на поверхность или располагаются возле поверхности. В эксплуатируемых изделиях развиваются трещины усталостного характера. Наличие поверхностных дефектов может приводить к авариям, наносящим значительный материальный ущерб. Прогрессивным методом обнаружения таких дефектов является вихретоковый. Однако подавляющее большинство современных вихретоковых дефектоскопов не приспособлены для эффективного обнаружения поверхностных дефектов, особенно под слоями краски, окалины, ржавчины и т. д. Они, как правило, не могут определить форму обнаруженного дефекта, что не позволяет оценить степень его опасности.

Для устранения отмеченных недостатков и расширения технических возможностей продолжено совершенствование вихретокового дефектоскопа, описанного в работе [13]. Основу нового прибора составляет вихретоковый преобразователь, который позволяет различать форму дефекта — округлая или вытянутая. Он не реагирует на неод-



Рис. 7. Вихретоковый дефектоскоп для обнаружения дефектов без специальной подготовки поверхности изделия

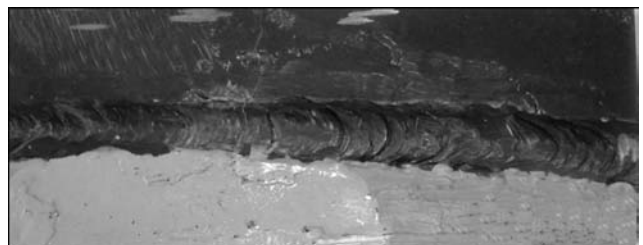


Рис. 8. Характерный образец с катаной поверхностью, сварным швом и окрашенной поверхностью, содержащий эксплуатационную трещину, обнаруживаемую дефектоскопами типа «Малыш-М»



нородности металла. Шероховатость поверхности дефекта практически не сказывается на работе дефектоскопа (рис. 7). Это позволило выполнять контроль без зачистки поверхностей основного металла и сварных швов. На рис. 8 показан пример образца, вырезанного из сосуда, с развитой в процессе эксплуатации трещиной. Вихретоковый дефектоскоп «Малыш-М» обнаруживает трещину на всех участках — под слоем краски толщиной более 1 мм, на участке сварного шва и на участке в состоянии после прокатки.

Характеристики прибора «Малыш-М»

Температура контролируемого металла, °С от	-20 до +50
Контролируемый материал	ферромагнитная или неферромагнитная сталь, чугун, алюминий, медь, титан и их сплавы
Температура окружающей среды, °С	-10...+40
Атмосферное давление, кПа	84...106,7
Питание прибора	от встроенных аккумуляторов, или сетевое ~ 220 В, 50Гц через сетевой адаптер
Мощность, потребляемая прибором от сети, не более, Вт	1
Масса дефектоскопа, г	500

Представление информации — на светодиодном семиразрядном индикаторе и посредством тонального звукового сигнала в головных наушниках. Предельная чувствительность контроля — канавка прямоугольной формы глубиной 0,1 мм на плоском образце из стали 45.

Новый вихретоковый дефектоскоп не требует зачистки поверхности перед проведением контроля. Следовательно, дополнительные потери энергии и металла изделия отсутствуют.

1. Патон Б. С., Тройцкий В. О., Посунайко Ю. М. Неруйнівний контроль в Україні // Інформ. бюл. Укр. товариства неруйнівного контролю та технічної діагностики. — 2003. — № 2(18). — С. 5–9.
2. *Неразрушающий контроль*: Справ. В 7 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. — Т.3: Ультразвуковой контроль / И. Н. Ермолов, Ю. В. Ланге. — М.: Машиностроение, 2004. — 864 с.
3. Сучков Г. М. О главном преимуществе ЭМА способа // Дефектоскопия. — 2000. — № 10. — С. 67–70.
4. Ермолов И. Н. Теория и практика УЗ контроля. — М.: Машиностроение, 1981. — 240 с.
5. Судакова К. В., Казюкевич И. Л. О повышении эффективности контроля качества металлургической продукции // В мире неразруш. контроля. — 2004. — № 3. — С. 8–10.
6. *Неразрушающий контроль*: Справ. В 7 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. — Т.2: В 2 кн. — Контроль герметичности. Вихретоковый контроль. — М.: Машиностроение, 2003. — 688 с.
7. Сучков Г. М. Возможности современных ЭМА толщиномеров // Дефектоскопия. — 2004. — № 12. — С. 16–25.
8. Сучков Г. М. Современные возможности ЭМА дефектоскопии // Там же. — 2005. — № 12. — С. 24–39.
9. Сучков Г. М. Разработка и внедрение технологии сплошного автоматического обнаружения дефектов макроструктуры объемнозакаленных рельсов бесконтактным ультразвуковым методом. — Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. — Харьков: ХАДИ, 1988. — 22 с.
10. Сучков Г. М. Исследование ЭМА способом выявляемости плоскодонных отражателей в образцах из различных материалов // Контроль. Диагностика. — 2002. — №5. — С. 50–51.
11. Сучков Г. М. Исследование особенностей распространения поверхностных волн при контроле ЭМА способом // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2000. — № 3. — С. 33–35.
12. Сучков Г. М. Построение приборов для УЗ контроля и измерений с использованием ЭМА способа возбуждения и приема ультразвуковых импульсов // Там же. — 2005. — № 2. — С. 36–39.
13. *Исследование* применимости вихретокового контроля металлообъектов с помощью моделирования дефектов // Там же. — 2002. — № 3. — С. 35–37.

Нац. техн. ун-т «ХПИ»,
Харьков

Поступила в редакцию
15.04.2006

НОВОСТИ ИЗ ИНТЕРНЕТА

В МФ НИКИМТ «Эксперт-Центр» введена в эксплуатацию установка для спектрального анализа. МФ НИКИМТ «Эксперт-Центр» имеет участок спектрального анализа, на котором выполняются работы по определению химического состава сталей и сплавов оборудования и трубопроводов.

Основные работы проводятся на многоканальном эмиссионном спектрометре ДФС-71, который является последней новейшей разработкой дочерней фирмы ЛОМО-СКБ «Спектр». Прибор позволяет экспрессным методом одновременно определять все легирующие элементы и примеси, включая углерод, фосфор, серу. Спектрометр обеспечивает выполнение норм точности и диапазонов измерения концентрации элементов в соответствии с ГОСТ 18895–97.

Проведена градуировка установки с помощью наборов стандартных образцов химического состава на следующие программы:

- углеродистые стали типа Ст 3, 20, 45;
- низколегированные и легированные стали типа 09Г2С, 30Х, 30ХГСА, 20ХМ;
- коррозионно-стойкие сплавы типа 12Х18Н9, 08Х18Н10Т.

Время измерения концентрации элементов в пробе с определением марки материала составляет 60с. Заключение можно получить в течение 1-2 дней. Стандартные размеры исследуемого образца должны быть не менее 30×30×2 мм. Максимальные размеры определяются габаритами рабочего столика — 70×70×70 мм.

При использовании спецприспособления размеры исследуемого образца могут быть уменьшены до 10×10×2 мм.

<http://www.ndtexpert.ru>