

СТРУКТУРОСКОП ВИХРЕТОКОВЫЙ ВЭ-26НП

А. С. Бакунов, В. Ф. Мужижский, С. Е. Шубочкин

Описывается назначение и технические характеристики структуроскопа вихретокового ВЭ-26НП. Приведены области применения, характеристики структуроскопа вихретокового ВЭ-26НП. Рассматривается вопрос необходимости сортировки по удельной электрической проводимости. Анализируются возможности вихретокового структуроскопа ВЭ-26НП для проведения неразрушающего контроля качества термической обработки изделий из немагнитных сплавов. Приводятся примеры контроля удельной электрической проводимости тонкостенных объектов.

Одними из важнейших задач неразрушающего контроля, в целом, и вихретокового, в частности, являются задачи структуроскопии. Это сортировка материалов по маркам, оценка степени их химической чистоты, выявление и оценка неоднородности структуры, оценка глубины и качества поверхностно-упрочненных слоев, а также контроль качества термической и химико-термической обработки деталей, состояния поверхностных слоев после механической обработки, обнаружение остаточного механического напряжения и т. п.

Теоретической основой вихретоковой структуроскопии [1,2] является наличие корреляционных связей между электрическими характеристиками металлов и сплавов и их химическим составом или структурным состоянием. Поэтому, на основании измерений удельной электрической проводимости, возможно контролировать структуру, однородность химического состава, механические свойства материала и т. п.[3]

Для измерения удельной электрической проводимости обычно применяется метод вихревых токов. Достоинством метода является нечувствительность к загрязнению поверхности объекта контроля непроводящими веществами, давлению, влажности и загрязненности газовой среды. Простота конструкции преобразователя и возможность проведения бесконтактного контроля – еще одно преимущество вихретокового метода [4].

Интенсивность и распределение вихревых токов зависят от многих параметров объекта, таких как электрические и магнитные свойства материала, его геометрические размеры,

от наличия в материале нарушений сплошности, взаимного расположения преобразователя и объекта контроля, и т. д. Это, с одной стороны, является преимуществом метода, так как позволяет осуществлять многопараметровый контроль, но в то же время затрудняет его применение, так как при контроле одного параметра другие являются мешающими, и их влияние необходимо уменьшать.

При контроле удельной электрической проводимости основными мешающими факторами являются зазор между накладным вихретоковым преобразователем и поверхностью контролируемого изделия, толщина контролируемого изделия (как правило, при толщинах менее 1 мм), а также температура объекта контроля, так как удельная электрическая проводимость любого материала является термочувствительной функцией.

Среди существующих приборов для измерения удельной электрической проводимости наибольшее распространение получили ВЭ-17, предназначенные для контроля алюминиевых сплавов, и ВЭ-26Н – для контроля алюминиевых и медных сплавов[5]. Оба прибора малогабаритные, имеют автономное питание, снабжены миниатюрным накладным измерительным преобразователем. Наличие встроенного калибратора у прибора ВЭ-26Н не требует стандартных образцов удельной электрической проводимости для подготовки его к работе.

В этих и большинстве других измерителей удельной электрической проводимости решена задача отстройки от изменений зазора между измерительным преобразователем и контролируемой поверхностью. В частности в измерителе ВЭ-26Н для этой цели использован фазовый метод выделения информации. Зависимость относительного вносимого напряжения накладного преобразователя от удельной электрической проводимости и изменений зазора между преобразователем и контролируемым изделием показаны на рис. 1. Из анализа годографов видно, увеличение фазы вносимого напряжения φ с ростом удельной электрической проводимости значительно сильнее, чем при изменении зазора. Погрешность в измерении фазы вносимого напряжения, которая появляется при существенных изменениях зазора, можно значительно снизить, если сместить начало отчета в точку O' . Для этого сигнал с пре-

образователя суммируется с некоторым напряжением U_k , выбранным таким образом, что начало отсчета находится в точке пересечения касательных к линиям годографов влияния зазора в диапазоне изменений $H=0...h_1$. В этом случае фаза вносимого напряжения зависит только от вариации σ . Благодаря этому прибор практически не чувствует изменение зазора во всем диапазоне его изменения.

Главным недостатком практически всех известных приборов для измерения удельной электрической проводимости является ее измерение без учета температуры окружающей среды, а следовательно, и температуры контролируемых изделий. При использовании этих приборов необходимо дополнительно измерять температуру окружающей среды и пересчитывать полученные значения удельной электрической проводимости к значениям, соответствующим температуре $+20^\circ\text{C}$, так как все корреляционные зависимости между удельной электрической проводимостью σ и структурными характеристиками материалов приводятся для этой температуры. Помимо температуры на электрическую проводимость металлов и сплавов влияют концентрация примесей и атомы с некомпенсированными электронами. Все составляющие удельного электрического сопротивления складываются аддитивно:

$$\rho_{\text{полн}} = \rho_{\text{д}} + \rho_{\text{прим}} + \rho_{\text{темп}} \quad (1)$$

где: $\rho_{\text{д}}$ – составляющая удельного сопротивления, зависящая от давления и деформации;

$\rho_{\text{прим}}$ – определяется присутствием примесей или легирующих элементов;

$\rho_{\text{темп}}$ – температурная часть удельного сопротивления.

Две первые части сопротивления не зависят от температуры и являются контролируемыми параметрами, а $\rho_{\text{темп}}$ является источником погрешности и ее влияние необходимо учитывать. Считается, что температурная часть удельной электрической проводимости обратно пропорциональна абсолютной температуре. В широком диапазоне температур удельная электрическая проводимость σ чистых металлов, а также сплавов зависит от температуры линейно [1] и определяется по формуле:

$$\sigma = \sigma_{20} \cdot (1 - \alpha_T \cdot \Delta T), \quad (2)$$

где: σ_{20} – удельная электрическая проводимость материала при температуре 20°C;

α_T – температурный коэффициент удельной электрической проводимости;

ΔT – отклонение температуры контролируемого материала от 20°C.

Температурные коэффициенты удельной электрической проводимости остаются практически постоянными в температурном диапазоне от 0 до 50°C. У переходных металлов температурный коэффициент имеет порядок 10^{-3} , а для чистых металлов примерно равен $4 \cdot 10^{-3}$. И следовательно, если не учитывать температурную составляющую удельной электрической проводимости, погрешность измерения может увеличиться на несколько процентов.

Для решения этой проблемы в ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр» разработан новый вихретоковый структуроскоп ВЭ-26НП [6]. Общий вид структуроскопа приведен на рис. 2. Вихретоковый структуроскоп, как и его предшественник – измеритель удельной электрической проводимости ВЭ-26Н [5], предназначен для неразрушающего контроля качества изделий из немагнитных сплавов на основе алюминия или меди путем измерения их удельной электрической проводимости или сортировки изделий по ее приращению относительно некоторого базового значения. Алгоритм работы прибора, реализованный посредством микроконтроллера позволяет измерять не только абсолютные значения удельной электрической проводимости, но и ее приращения, что позволило, при помощи структуроскопа ВЭ-26НП проводить контроль по «нулевому методу» [1]. «Нулевой метод» контроля позволяет различать даже разные плавки одной марки и контролировать материалы, проходящие нагрев, ковку и термическую обработку, после каждой из этих операций. При этом прибором измеряется не абсолютное значение удельной электрической проводимости, а его приращение относительно эталонного образца. В качестве эталона выбирается один образец из партии, который хранится в течение проведения измерений и по нему периодически производится подстройка прибора. В этом режиме предусмотрен ввод браковочного значения приращения

удельной электрической проводимости, что существенно снижает трудоемкость контроля. Основные характеристики вихретокового структуроскопа ВЭ-26НП приведены в таблице 1.

Для обеспечения возможности проведения измерений удельной электрической проводимости с учетом температуры в прибор встроен датчик температуры. Калибровка прибора осуществляется при помощи встроенного калибратора, и не требует стандартных образцов удельной электрической проводимости. Значения температурных коэффициентов удельной электрической проводимости образцов калибратора записаны в память микроконтроллера. Если калибровка прибора производится при температуре, отличной от 20°C, значения удельной электрической проводимости образцов отличаются от номинальных. Во время калибровки микроконтроллер опрашивает встроенный термометр и, производя пересчет удельной электрической проводимости образцов калибратора, производит настройку прибора при текущей температуре. Во время дальнейшей работы при каждом измерении микроконтроллер считывает показания термометра и измерительного канала и, по формуле (2), производит пересчет удельной электрической проводимости, приведенной к 20°C.

Для того чтобы проводить измерения удельной электрической проводимости, приведенной к значению при температуре 20°C, необходимо знать температурный коэффициент удельной электрической проводимости материала контролируемого изделия. Его величина, в процентах на градус, вводится в прибор с панели управления. После этого показания будут соответствовать удельной электрической проводимости контролируемого изделия, приведенной к значению при температуре 20°C.

Важной особенностью вихретокового структуроскопа ВЭ-26НП является встроенная память для сохранения результатов измерений абсолютного значения или приращений удельной электрической проводимости и связь с компьютером через интерфейс RS232 для сохранения всех результатов на жестком диске, для дальнейшего документирования результатов измерения и последующей их обработки.

Вихретоковый структуроскоп ВЭ-26НП зарегистрирован в Реестре Системы сертификации средств измерений под № 010200048 и выдан сертификат соответствия №0000548.

Вихретоковый структуроскоп ВЭ-26НП позволяет измерять удельную электрическую проводимость с учетом влияния температуры и отстройкой от изменения зазора между вихретоковым преобразователем и объектом контроля. В приборе непосредственно не реализован учет влияния толщины контролируемого изделия на показания прибора, но разработаны методики позволяющие проводить измерения удельной электрической проводимости с поправкой на толщину объектов контроля [7].

Значение поправки определяют с помощью набора образцов разной толщины или с использованием “ступенчатого” образца. Образцы изготавливаются из одной заготовки, при этом электропроводимость материала не должна отличаться от электропроводимости объекта контроля более чем на 3%. Наибольшая толщина должна составлять 2 мм, толщина остальных образцов постепенно уменьшается на 0,1-0,2 мм. В режиме измерения приращения удельной электрической проводимости измеряют кажущуюся электропроводимость образцов. Значение электропроводимости образца наибольшей толщины принимают за базовое. По результатам измерений строят зависимость, характеризующую влияние толщины. Затем для известной толщины объекта контроля по графику определяют соответствующее значение поправки в МСм/м.

Если объектом контроля являются фольги, можно измерить их удельную электрическую проводимость, собрав фольги в плотный пакет, толщина которого значительно превышает глубину проникновения вихревых токов. Удельная электрическая проводимость, измеренная при помощи вихревых токов, массивного однородного металла практически не отличается от проводимости большого числа плотно прижатых изолированных листов из того же материала.[7]. При измерении электропроводности по этой методике определение поправки не требуется. Показания вихретокового структуроскопа соответствуют удельной электропроводимости объекта контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорофеев А.Л. Индукционная структуроскопия. – М.: Энергия, 1973. – 176 с.
2. Наумов Н. М., Микляев П. Г. Резистометрический неразрушающий контроль деформируемых алюминиевых сплавов. – М.: Metallurgia, 1974. – 199 с.
3. Бакунов А.С., Мужичкий В.Ф., Попов Б.Е. Контроль механических свойств алюминиевых сплавов электромагнитным методом. – Дефектоскопия, 1995, №2, с. 61-67
4. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1995. – 488 с.
5. Бакунов А.С., Смолягин В.А. Измеритель удельной электрической проводимости ВЭ-26Н. – Дефектоскопия, 1991, №3, с. 81.
6. Бакунов А.С., Дронов А.Н., Курозаев В.П., Шубочкин С.Е., Устройство для измерения удельной электрической проводимости. Патент РФ №2194976, опубл. в Б. И. № 35, 20.12.2002.
7. ГОСТ 27333-87 Контроль неразрушающий. Измерение удельной электрической проводимости цветных металлов вихретоковым методом.
- 8.Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики. – Новосибирск: "Наука", 1967. – 144 с.

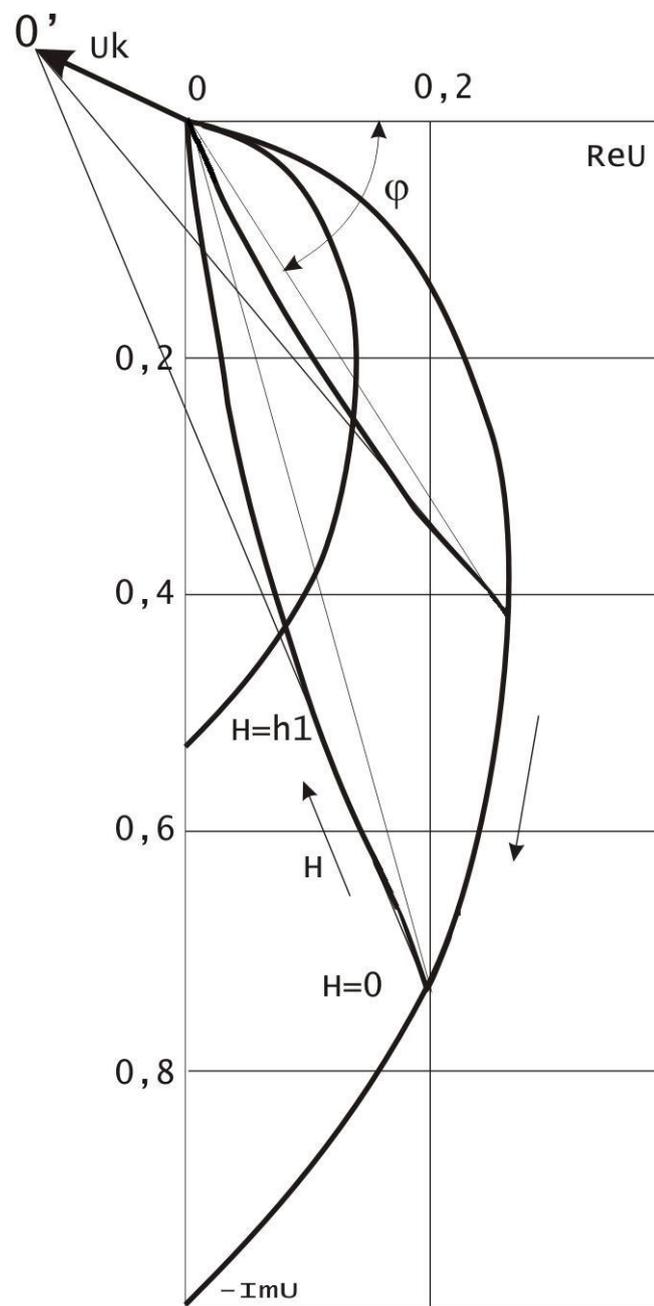


Рис. 1 Годографы относительного вносимого напряжения накладного вихрекового преобразователя при контроле неферромагнитного листа

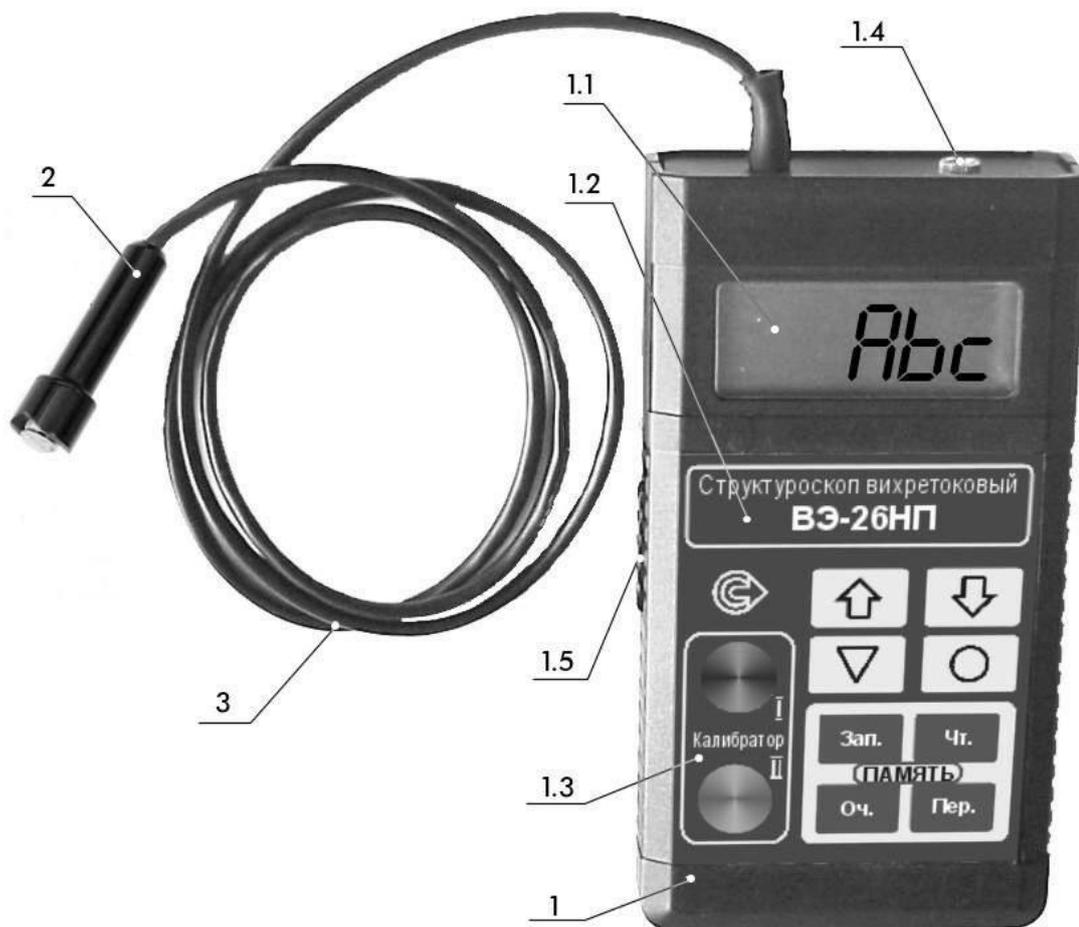


Рис. 2 Внешний вид вихретокового структуроскопа ВЭ-26НП

1- электронный блок, 1.1-дисплей, 1.2- панель управления, 1.3- встроенный калибратор, 1.4-разъем для подключения внешнего компьютера через стандартный интерфейс RS232, 1.5- выключатель питания, 2- преобразователь, 3- гибкий кабель

Таблица 1 Технические характеристики вихретокового структуроскопа ВЭ-26НП

Диапазон измерений абсолютного значения удельной электрической проводимости, МСм/м	от 5 до 60
Диапазон измерений приращений удельной электрической проводимости, МСм/м	от -9,99 до +9,99
Предел допускаемой основной погрешности измерений, % не более в диапазоне от 5 до 40 МСм/м в диапазоне от 5 до 40 МСм/м	2 3
Индикация результата измерений	Цифровая
Допускаемая величина зазора между измерительным преобразователем и контролируемой поверхностью, мм	0,25
Температура окружающего воздуха при работе	от +5 ⁰ С до +40 ⁰ С
Источник питания структуроскопа	элемент типа РРЗ
Ток потребления, мА	10
Объем памяти для запоминания результатов	4096
Связь с компьютером	Интерфейс RS232

Подписи к рисункам.

Рис. 1 Годографы относительного вносимого напряжения накладного вихретокового преобразователя при контроле неферромагнитного листа

Рис. 2 Внешний вид вихретокового структуроскопа ВЭ-26НП

1- электронный блок, 1.1-дисплей, 1.2- панель управления, 1.3- встроенный калибратор, 1.4-разъем для подключения внешнего компьютера через стандартный интерфейс RS232, 1.5- выключатель питания, 2- преобразователь, 3- гибкий кабель

Таблица 1 Технические характеристики вихретокового структуроскопа ВЭ-26НП