

Во-вторых, гидролокаторы с САА обладают наиболее высокой устойчивостью к воздействию ревербераций. Это обеспечивается использованием специального междупериодного накопления, позволяющего выполнить как сверхразрешение элементов поверхности дна, так и отделение полезных сигналов от сигналов ревербераций на основе учета индивидуальности законов изменения фаз полезных сигналов при движении ГЛ относительно анализируемой поверхности.

1. Чан Тай Чонг, Гейстер С.Р. Анализ возможностей защиты от сигналов ревербе-

УДК 620.179.14

КОНТРОЛЬ ФЕРРОМАГНИТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЯХ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Лухвич А.А.¹, Шарандо В.И.¹, Шукевич А.К.¹, Янушкевич К.И.²

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

²ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск, Республика Беларусь

Нержавеющие стали аустенитного класса широко используются в современном машиностроении. При этом особенности их механических и коррозионных свойств в значительной мере обеспечивает ферромагнитная составляющая, откуда вытекает важность её определения в данных материалах. Наиболее целесообразно проводить контроль качества аустенитных сталей с помощью магнитных методов. Следует учитывать, что структура и фазовый состав контролируемого материала зависит от его термомеханической обработки. Так, согласно [1], в недеформированных сталях ферромагнитная фаза отождествляется с δ -ферритом. При прокатке появляются значительные количества мартенсита [2], имеющие другие магнитные свойства. Эти явления должны учитываться при проведении исследований и в оценке результатов контроля.

В Институте прикладной физики НАН Беларуси разработан магнитодинамический метод неразрушающего контроля, основанный на измерении потока индукции магнитного поля рассеяния от намагниченного участка объекта исследования [3]. При этом измеряемый сигнал является функцией намагниченности информативной области и зависит только от значений индукции в конечных положениях преобразователя (контакт с объектом и расстояние, где полем его остаточной намагниченности можно пренебречь). Метод и соответствующие приборы имеют высокую чувствительность к слабым вторичным магнитным полям, что позволяет прогнозировать возможность их применения для экспресс-контроля малых содержаний ферромагнитной составляющей в аустенитных нержавеющих сталях.

рации при гидроакустическом синтезе апертуры антенны//Технические средства защиты информации: материалы XI Белорусско-российская науч.-тех. конф. 5-6 июня 2013, Минск, Респ. Беларусь. – С. 27.

2. Чан Тай Чонг. Морская реверберация в гидролокаторе с синтезом апертуры антенны // Тезисы. докл. 50-ой научной конференции аспирантов, магистрантов, студентов БГУИР «Радиотехнические системы», 7 мая 2013 г., Минск, Беларусь. – С. 10.

Целью работы является адаптация магнитодинамического метода для выявления магнитно упорядоченных фаз в нержавеющих сталях.

Материалом для исследований была выбрана широко используемая в атомном машиностроении сталь 12Х18Н9 в виде пластины толщиной 5,2 мм в состоянии поставки (прокатка).

Из пластины изготовлены шлифованные образцы размером $25 \times 25 \times 5 \text{ мм}^3$, а также кубики $4 \times 4 \times 4 \text{ мм}^3$ и $3 \times 3 \times 3 \text{ мм}^3$. Параллельные пары граней кубиков обозначались как 1-1*, 2-2* и 3-3*. При этом для всех кубиков нормали к парам граней 1-1* и 2-2* лежали в плоскости прокатки, а к паре 3-3* – были перпендикулярны ей.

Для идентификации фаз, ответственных за наличие магнитно упорядоченной составляющей, и оценки их количества необходимо знание удельной намагниченности материала и температуры Кюри. Такие измерения выполнены для образцов $3 \times 3 \times 3 \text{ мм}^3$ с помощью сертифицированной установки пондеромоторного принципа действия (МВИ. МИ 3128-2009) в магнитном поле с индукцией $B=0,86 \text{ Тл}$ в температурном интервале $80 \div 1100 \text{ К}$ при нагреве и охлаждении со скоростью $0,2 \div 0,5$ градуса в секунду. Графическая зависимость приведена на рисунке 1.

Температурный гистерезис удельной намагниченности стали (её величина при 300 К составляет при нагреве $\sigma_T=2,0 \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ и при охлаждении $\sigma_T=1,4 \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$) указывает на изменения в кристаллической структуре и фазовые превращения. Из рисунка следует существование двух ферритных фаз. Одна из них имеет температуру Кюри $T_C=825 \div 850 \text{ К}$ и ближе всего совпадает с соединением FeNi ($T_C=835 \div 840 \text{ К}$, удельная намагниченность около $145 \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$). Количество, исходя из $\sigma_T=1,4 \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$, составляет

около 1%. Содержится также небольшое количество δ -феррита с температурой Кюри $T_{C1}=1025\text{K}$; данная фаза перестаёт выявляться при охлаждении. Согласно [2] в состоянии до термической обработки должен существовать мартенсит деформации. Его удельная намагниченность близка к чистому железу, а вклад в удельную намагниченность исследуемой стали составляет (пренебрегая другими структурными изменениями при нагреве) $\sigma_{T+}-\sigma_{T-}=0,6\text{A}\cdot\text{M}^2\cdot\text{K}^{-1}$. Это может соответствовать его количеству около 0,2–0,3%.

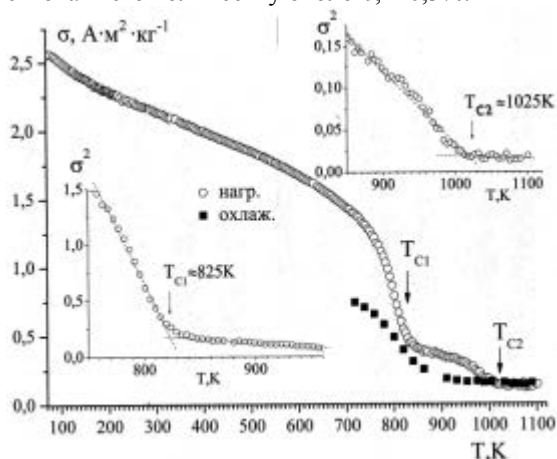


Рисунок 1 – Зависимость удельной намагниченности от температуры

На всех образцах проведены измерения сигнала магнитодинамического преобразователя [3], имевшего радиус магнита 5мм и радиус информативной зоны около 10мм. Показания снимались в относительных единицах, результаты по противоположным граням усреднялись.

Для определения глубины информативной зоны образцы $25\times 25\times 5\text{мм}^3$ складывались в стопку толщиной 5, 10, 15, 20, 25 мм с установленным на верхней грани преобразователем. Получены соответствующие показания прибора: 882, 968, 977, 982, 979 отн. ед. Изменение сигнала практически прекращается (погрешность ~ 1%) после толщины стопки 10мм. Далее образцы были скреплены в кубик размерами $25\times 25\times 25\text{мм}^3$ так, что направления прокатки на гранях создавали плоскости 1-1*, 2-2* и 3-3*, аналогичные остальным цельным кубикам. Выполнены измерения сигнала преобразователя при его установке на каждую из граней. Отмечено отсутствие разницы в показаниях при попадании точки касания магнита на сплошной участок поверхности кубика и на стык между составляющими его образцами, что связано с хорошим прилеганием плоскостей, большим объёмом информативной зоны (не выходящей, однако, за пределы кубика) и низкой концентрацией ферромагнитных включений. Таким образом, кубик в магнитном отношении вёл себя как сплошной.

Аналогичные измерения проведены при установке магнитодинамического преобразователя на

грани кубиков $4\times 4\times 4\text{мм}^3$ и $3\times 3\times 3\text{мм}^3$. При этом использовались как кубики в исходном, не термобработанном состоянии (без т/о), так и кубик, перед этим прошедший нагрев до 1100К и охлаждение в установке для измерения удельной намагниченности (т/о).

На данной установке для кубика $4\times 4\times 4\text{мм}^3$ при 300К. измерена также удельная намагниченность σ в зависимости от ориентации граней.

Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ грани куба	Сигнал магнитодинамического преобразователя, отн. ед.				σ , $\text{A}\cdot\text{M}^2\cdot\text{K}^{-1}$
	$25\times 25\times 25$ мм^3	$4\times 4\times 4$ мм^3	$3\times 3\times 3$ мм^3		
	без т/о	без т/о	без т/о	т/о	
1-1*	1228	132	55	24	2,016
2-2*	1096	102	48	21	2,031
3-3*	980	32	25	14	2,057

Из таблицы следует, что величины намагниченности по разным граням кубиков, измеренные на магнитометрической установке, близки, при этом максимальное значение соответствует направлению поля, перпендикулярному плоскости прокатки. Магнитодинамические измерения более чувствительны к анизотропии магнитных свойств, однако наибольшие сигналы соответствуют случаям, когда преобразователь устанавливается на грани, нормали к которым лежат в плоскости прокатки. Наблюдаемое различие в эффектах обусловлено тем, что в магнитометрической установке намагничивающее поле имеет единственную, нормальную к заданной грани кубика компоненту, а магнитодинамический преобразователь создает в образце нормальную и тангенциальную компоненты с преимуществом последней; при совпадении с ней направления лёгкого намагничивания прокатанного металла и фиксируется максимальный сигнал. Изучение магнитной анизотропии не входило в задачу данной работы. Отметим лишь, что дополнительные исследования в полях до $\pm 14\text{Tл}$ указывают на сложную природу магнитного состояния стали, определяемую, в частности, кластерами.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности магнитодинамического метода к содержанию ферромагнитной составляющей в прокате нержавеющей стали. Учитывая оцененное выше её суммарное содержание в образцах 12X18H9 (около 1% FeNi и до 0,2–0,3% мартенсита деформации), контроль массивных изделий может быть обеспечен с чувствительностью до сотых долей процентного количества данной составляющей. Для термооб-

работанных образцов чувствительность такого же порядка достигается по отношению к фазе FeNi. На результат измерений оказывает влияние связанная с направлением прокатки анизотропия магнитных свойств. Уменьшение сигнала преобразователя на образцах малых размеров связано с уменьшением объема информативной зоны.

1. ГОСТ Р 53686-2009 (ИСО 8249:2000) Сварка. Определение содержания ферритной фазы в металле сварного шва аустенитных и двух-

УДК 620.16(075.8)

ШИРОКОАПЕРТУРНЫЙ УФ-ДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА

Шаронов Г.В.

Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко

Минск, Республика Беларусь

В последнее время в различных отраслях промышленности, медицины используются детекторы УФ-излучения на основе особо чистых природных алмазов типа 11а, которые достаточно дороги и редко встречаются в природе. Как правило, эти детекторы имеют небольшую рабочую площадку 1 мм² [1]. Есть отдельные сообщения о создании приборных структур на основе беспримесных синтетических моно-и поликристаллических алмазов и алмазных пленок, выращенных по SVD – технологии [2-3].

Настоящая работа направлена на разработку технологии и создание широкоапертурных высокочувствительных спектрально-селективных детекторов УФ-излучения на синтетических монокристаллических алмазных подложках. Алмаз, в этом случае, выполняет функцию твердотельной ионизационной камеры. Ионизирующее излучение приводит к генерации свободных носителей заряда, которые собираются на электродах, расположенных на поверхности детектора

Перечислим основные преимущества алмаза, как фотополупроводника, для детекторов УФ-излучения и области его применения: 1) высокая чувствительность в спектральном диапазоне 190 – 300 нм; 2) высокая спектральная селективность фотоотклика (отношения сигнала в УФ и видимом диапазонах 10⁵); 3) высокое временное разрешение, оцениваемое 10⁻¹³ с; 4) высокая оптическая прочность до 0,1 ГВт/см² в УФ – импульсе; 5) высокая надежность и стабильность в эксплуатации; 6) применяются в УФ – литографии, лазерной микрообработке, медицине, астронавигации, УФ- локации, космических исследованиях в УФ – диапазоне, наблюдением за озоновыми дырами, материаловедении, люминесцентном анализе и др.

Последние достижения в области твердотельной электроники показывают, что полупроводниковые приборы с использованием алмазов

фазных феррито-аустенитных хромоникелевых коррозионностойких сталей.

2. Снежной Г.В. Идентификация низких содержаний феррита и мартенсита в аустенитных хромоникелевых сталях // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – №7. – С. 76-79.
3. Лухвич А.А. Магнитные толщинометры нового поколения // *Неразрушающий контроль и диагностика*. – 2010. – №4. – С. 3-15.

становятся реальностью, поскольку промышленность освоила выпуск синтетических моно- и поликристаллических алмазов с теплопроводностью 800-2000 Вт/м·К, а в лабораторных условиях получена теплопроводность порядка 3000 Вт/м·К и имеются хорошие предпосылки для создания мощных СВЧ- транзисторов, УФ-детекторов путем эпитаксиального наращивания алмазных пленок электронного качества из газовой фазы на монокристаллических подложках синтетического алмаза. Главной задачей производства монокристаллических алмазов электронного качества является разработка технологии получения кристаллов с одинаковыми свойствами, поскольку только такой подход может гарантировать серийное производство интегральных структур. Основу разрабатываемого УФ-детектора составляет подложка из монокристаллического синтетического алмаза типа СТМ «Алмазот». Выращивание монокристаллов алмазов осуществлялось на многопусонных аппаратах высокого давления и высокой температуры (ВДВТ) методом температурного градиента в интервале температур 1400-1600 С при гидростатическом давлении 5,5-6,0 ГПа. Рост кристаллов типа усеченный октаэдр осуществлялся в условиях термодинамической стабильности алмаза путем кристаллизации углерода, растворенного в расплавленной металлической фазе на алмазной затравке. Из выращенных буль, типа усеченный октаэдр ориентации 001, путем распиливания по плоской сетке куба, шлифования и полирования рабочих поверхностей, перпендикулярных ориентации 001, изготавливались подложки. Далее подложки подвергались суперфинишной механической обработке с шероховатостью Ra ≤ 1нм на специально разработанной виброполировальной установке [4]. Химическая очистка поверхности включала десятиминутное травление подложек в кипящей 40% щелочи КОН и промывку