

УДК 539.1.074.55

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ВОЗБУЖДАЕМОГО ПРОТОНАМИ, ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ СКАНДИЯ В НИКЕЛЕ

А.П. Омельник, В.В. Левенец, А.А. Щур

Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт",
61108, г. Харьков, Украина, ул. Академическая, 1.

E-mail: analytics@kipt.kharkov.ua

Поступила в редакцию 6 июня 2005 г.

Работа посвящена разработке методики анализа содержания скандия в никелевой матрице по характеристическому рентгеновскому излучению, возбуждаемому протонами. Для получения оптимальных аналитических характеристик были исследованы влияние на выход рентгеновского излучения скандия различных экспериментальных параметров: энергии протонов, материала рентгеновского фильтра, его толщины. Изготовлены стандартные (калибровочные) образцы. Изучены метрологические характеристики разработанной методики. Методика была использована для определения коэффициента диффузии скандия в никеле.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: протоны, характеристическое рентгеновское излучение, скандий, никель, коэффициент диффузии.

Повышение надёжности и долговечности конструкционных материалов является важнейшим условием, определяющим технический прогресс в машиностроении, атомной энергетике и ряде других областей промышленности. Совершенствованию технологических и прочностных свойств конструкционных сплавов, в том числе и применяемых в ядерной энергетике, часто способствует их легирование редкоземельными элементами (РЗЭ) [1, 2, 3]. Установлено, что в результате такого легирования происходит взаимодействие РЗЭ с легкоплавкими и газовыми примесями (сера, фосфор, мышьяк и др.) и очистка от них матрицы и границ зерен, что улучшает коррозионные свойства, уменьшает охрупчивание, повышает сопротивляемость радиационному набуханию [4, 5]. Значительный интерес представляет изучение влияния редкоземельных металлов на никель, как основу материалов использующихся в реакторостроении. Никель, сплавы на его основе, а также никель, легированный скандием, часто используются в исследованиях (в том числе, имитационных) для изучения физических процессов, происходящих под воздействием различных факторов ("агрессивная" среда, повышенные температура и давление) и излучений (нейтронное и гамма) в ядерных энергетических установках [6, 7]. Однако проведение большинства подобных работ невозможно без надёжного и точного контроля содержания легирующего элемента скандия в изучаемых объектах [8]. В настоящее время разработано много различных методик для определения отдельных РЗЭ. Наиболее распространённые из них используют следующие методы: абсорбционно-спектрометрический [9]; эмиссионно-спектроскопический и спектрофотометрический [10, 11]; нейтронно-активационный [12]; рентгеноспектральные [13, 14]. Среди рентгеноспектральных методов значительный интерес представляет метод анализа с регистрацией характеристического рентгеновского излучения (х.р.и.) возбуждаемого ускоренными протонами (ХРИ). Существующие в ННЦ ХФТИ электростатический ускоритель заряженных частиц ЭСУ-4,5 с экспериментальным оборудованием и аналитический ядерно-физический комплекс "Сокол" [15] позволяют создавать методики анализа индивидуальных (отдельных) РЗЭ в материалах ядерной энергетики, рудах, концентратах, в объектах окружающей среды [16, 17]. Целью настоящей работы было создание методики высокочувствительного, экспрессного, неразрушающего, массового анализа содержания скандия в никеле. Для решения поставленной задачи была модернизирована установка элементного анализа; проведены экспериментальные исследования, на основании которых создана методика количественного анализа скандия в никеле и изучены её метрологические характеристики. Разработанная методика использована для экспериментального определения коэффициента диффузии скандия в никеле.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальное оборудование

Экспериментальные измерения проводились на электростатическом ускорителе ЭСУ-4,5 ННЦ ХФТИ. Пучок протонов из ускорителя через ионопровод и формирующие диафрагмы попадал в вакуумную измерительную камеру [18]. На рис.1 представлен её вид со снятой боковой крышкой. Основную часть внутреннего объёма занимают кассета для образцов, рассчитанная на размещение в ней 42 объектов и кассета для 10 рентгеновских фильтров. Х.р.и. из объекта, пройдя через рентгеновский фильтр, попадает в блок детектирования на основе Si(Li) кристалла. Головная часть блока детектирования через вакуумное уплотнение введена в объём камеры. Измерительная камера изолирована от других элементов установки, что позволяет

использовать ее в качестве цилиндра Фарадея для измерения попавшего на облучаемый объект заряда протонов.

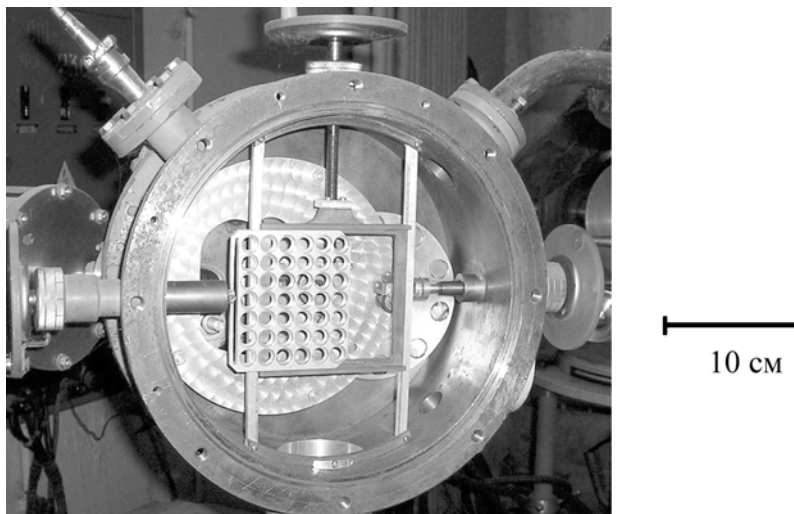


Рис. 1. Измерительная камера

Стандартные (калибровочные) образцы

Проведение метрологических исследований при разработке методики анализа Sc в Ni осуществлялись с помощью стандартных образцов (СО) собственного изготовления, имеющих категорию "Стандарт предприятия". Была изготовлена серия стандартных образцов с концентрациями Sc в никелевой матрице, в диапазоне от 0,001 мас. % до 1,0 мас. %. Их состав приведен в таблице 1. Для изучения влияния фактора возможной неомогенности стандартов на выход х.р.и. были изготовлены 22 СО, содержащих 0,07 мас. % Sc. Для выяснения влияния мешающих добавок титана на основе стандарта содержащего 0,065 мас. % Sc были изготовлены образцы, в которые дополнительно вносили Ti в концентрациях 0,08 мас. %, 0,11 мас. %, 0,16 мас. %, 0,5 мас. %. При изготовлении СО в качестве химических веществ были использованы: порошок никеля Л-6 ГОСТ 9722-79, окись скандия ОСЧ, окись титана ОСЧ. Для изготовления СО с концентрациями Sc менее 0,1 мас. % с целью улучшения гомогенности было проведено предварительное разбавление окиси скандия порошком ОСЧ углерода.

Табл. 1. Состав стандартных образцов

Название стандарта	Концентрация, мас. %			
	Углерод	Кислород	Скандий	Никель
ст.Ni(эS)1.85	$1,85 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	99,98
ст.Ni(эS)2.85	$5,54 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	99,94
ст.Ni(эS)3.85	$9,22 \cdot 10^{-2}$	$2,67 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	99,90
ст.Ni(эS)4.85	$1,29 \cdot 10^{-1}$	$3,73 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$	99,86
ст.Ni(эS)5.85	$1,84 \cdot 10^{-1}$	$5,32 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	99,80
ст.Ni(эS)6.85	$5,51 \cdot 10^{-1}$	$1,59 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	99,40
ст.Ni(эS)7.85	1,27	$3,68 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-2}$	98,62
ст.Ni(эS)8.85	1,81	$5,23 \cdot 10^{-2}$	$9,8 \cdot 10^{-2}$	98,04
ст.Ni(эS)9.85	-	$7,98 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	99,77
ст.Ni(эS)10.85	-	$1,06 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$	99,70
ст.Ni(эS)11.85	-	$2,65 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-1}$	99,24
ст.Ni(эS)12.85	-	$5,25 \cdot 10^{-1}$	$9,85 \cdot 10^{-1}$	98,50

Для достижения равномерного распределения частиц порошка Sc в порошке из Ni и для дополнительного их измельчения применена механическая гомогенизация взвешенных навесок в агатовой ступке в течение 1 часа. После такой обработки размеры частиц компонентов составляли десятые доли микрона. Учитывая, что характерные глубины анализируемого слоя имеют значительно большую величину (порядка 10 микрон), а проекция пучка протонов на мишень составляет около 10 мм^2 , то вклад в погрешность анализа, связанную с размерностью гранул вещества незначителен. Окончательное изготовление образцов включает прессование

приготовленных смесей. Прессование проводилось на гидравлическом прессе при усилии 4000 кГ с выдержкой под нагрузкой в течение 5-10 минут. Готовые образцы представляют собой материал, запрессованный в алюминиевом держателе с внешним диаметром 11 мм и высотой 2 мм. Анализируемая поверхность готового образца имеет диаметр 8 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выбор и оптимизация условий измерений

При разработке аналитической методики обычно ставится цель добиться максимально достижимых показателей её аналитических характеристик – точности, сходимости, воспроизводимости, правильности, предела обнаружения (ПО), экспрессности, селективности [19]. Для метода ХРИ эти характеристики зависят от энергии и тока пучка протонов, материала и толщины рентгеновского фильтра, характеристик и выбранных режимов работы спектрометрической аппаратуры и др. Так как большинство аналитических показателей взаимозависимы, то обычно, если не ставится специальное требование для одного из них, находится некоторое компромиссное условие проведения измерений. В поставленной задаче требуется анализировать скандий в диапазоне $1 \cdot 10^{-3}$ мас. % до 1 мас. % с относительной погрешностью не хуже 10-15% с производительностью 15-20 минут на 1 объект. Так как измеряемые концентрации имеют малые значения, то при выборе и оптимизации условий измерений можно руководствоваться критерием достижения минимального ПО. Среди различных критериев его определения в ядерно-физических методах [20] наиболее часто применяют следующий: $ПО = 3(N_{\Phi})^{1/2} \cdot C_{СТ} / N_{СТ}$, где N_{Φ} – количество счётов фона под аналитическим пиком на ширине 2σ (σ – полная ширина на половине высоты этого пика); $C_{СТ}$ – концентрация анализируемого элемента в стандарте; $N_{СТ}$ – количество счётов в аналитическом пике. Соотношение между полезным сигналом и фоном в спектрах х.р.и. возбуждаемого протонами зависит, в первую очередь; от энергии возбуждающих протонов и от материала и толщины применяемого рентгеновского фильтра. Ярко выраженный характер зависимости от порядкового номера элемента и энергии протонов имеет сечение возбуждения рентгеновской флуоресценции. Значения сечений возбуждения К-оболочки для Sc и Ni в диапазоне энергий протонов от 0,5 МэВ до 4,0 МэВ получены с помощью компьютерной программы "INTPOL" [21], включающей большое количество экспериментальных данных о сечениях возбуждения х.р.и. Были проведены расчёты зависимости величины отношения сечения возбуждения рентгеновской флуоресценции К-серии скандия к сечению возбуждения рентгеновской флуоресценции К-серии никеля от энергии протонов. Эти расчёты показали, что для получения максимального значения площади аналитической линии Sc по отношению к линии Ni следует выбирать небольшие значения энергии протонов. Однако измерения при слишком низких значениях энергии протонов вследствие уменьшения толщины анализируемого слоя вносят дополнительные погрешности в анализ, а также увеличивают его продолжительность.

Выбор материала и толщины используемого рентгеновского фильтра оказывает существенное влияние на аналитические показатели методик анализа основанных на методе ХРИ. В большинстве случаев такие фильтры предназначены или для подавления интенсивности в х.р.и. в низкоэнергетичной части спектров во избежание чрезмерной загрузки спектрометрического тракта, или, за счет использования скачка поглощения, - для уменьшения интенсивностей линий х.р.и. элементов матрицы по отношению к интенсивности линий примесных элементов. Зависимость ПО от энергии протонов для некоторых материалов рентгеновского фильтра и разных их толщин была исследована на стандарте, содержащем 0,07 мас. % скандия. На рис.2 представлена полученная зависимость ПО Sc от энергии протонов для фильтров из хрома с толщинами 26 мкм и 31 мкм и железа толщиной 40 мкм.

Как видно из рис.2 самые низкие величины для ПО скандия в никеле получены при использовании рентгеновского фильтра из хрома толщиной 31 мкм при энергии протонов 1,7...2,0 МэВ. Фильтр из Cr в данной задаче имеет то преимущество, что этот материал имеет скачок коэффициента поглощения, находящийся между аналитическими линиями х.р.и. Sc и линиями Ni. Так, вычисленный с помощью компьютерной программы "XCOM" (веб-страница: <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/Text/intro.html>) коэффициент поглощения Cr 31мкм для K_{α} никеля в 1,7 раз больше, чем для K_{α} скандия. Использование такого фильтра особенно эффективно для решения рассматриваемой аналитической задачи, где требуется анализировать малые концентрации примесного элемента на фоне матричного элемента, атомный номер которого больше на несколько единиц.

Обработка рентгеновских спектров проводилось с помощью компьютерной программы, представляющей собой модификацию программы "SLED" [22]. В результате выполнения итерационной процедуры программа выдаёт площадь пика дублета аналитических линий K_{α} -серии скандия, погрешность определения площади пика, площадь фона, а также график экспериментального и подогнанного спектра.

Метрологические характеристики

По результатам измерений спектров х.р.и для серии стандартных образцов с различными величинами концентраций скандия был построен график зависимости интенсивности рентгеновского излучения К-серии

скандия от концентрации в диапазоне 0,001 мас. % - 1 мас. %. На рис.3 представлен его вид (для большей наглядности оси представлены в логарифмическом масштабе).

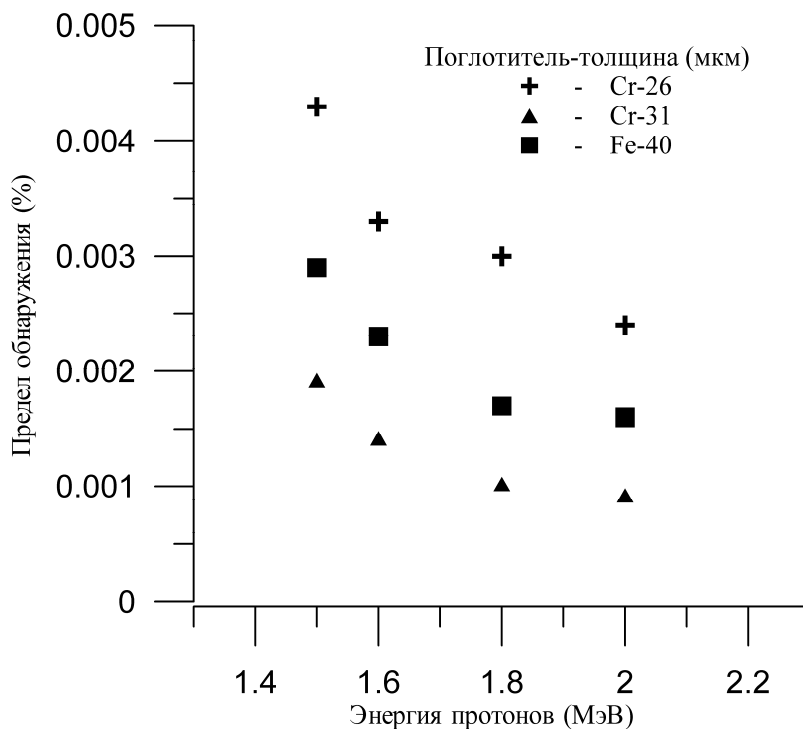


Рис.2. Зависимость предела обнаружения от энергии протонов для фильтров из хрома и железа

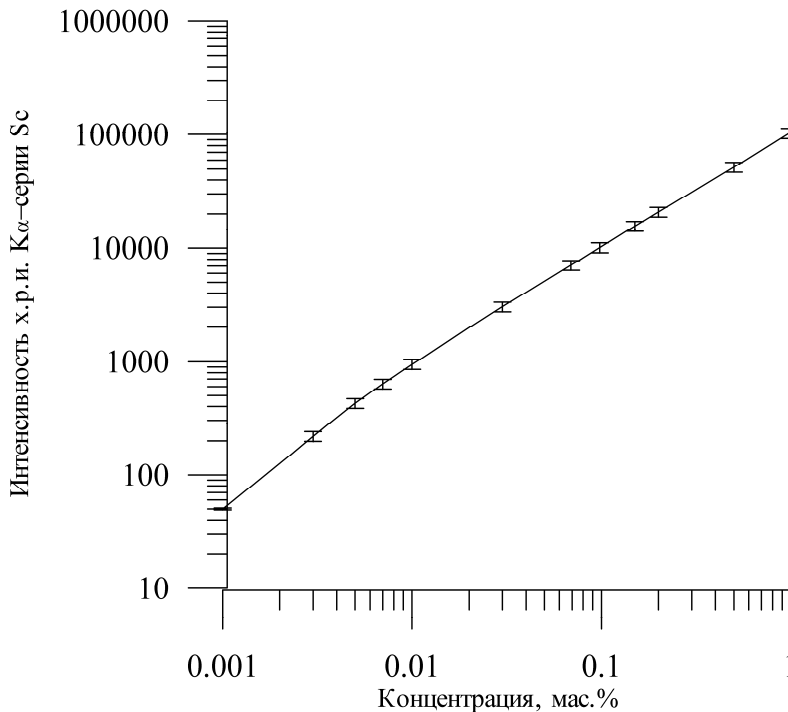


Рис.3. Градуировочный график

В исследуемом диапазоне концентраций выход х.р.и. скандия близок к линейной зависимости от его концентрации. По методу наименьших квадратов было определено уравнение прямой, описывающей набор экспериментальных данных в пределах погрешности измерений. Для этого же участка был посчитан коэффициент корреляции [23], его величина равна 0,998, что свидетельствует о хорошей корреляционной зависимости между площадью аналитического пика и концентрацией. Как указывалось выше, оптимальные

значения ПО были получены при использовании рентгеновского фильтра из хрома толщиной 31мкм. Энергия протонов была выбрана равной 1,8 МэВ. При наборе заряда протонов 100 мкКл на один спектр ПО был на уровне $0,9 \cdot 10^{-3}$ %. Типичный вид спектра х.р.и. исследуемого образца, измеренного при указанных экспериментальных условиях приведен на рис.4.

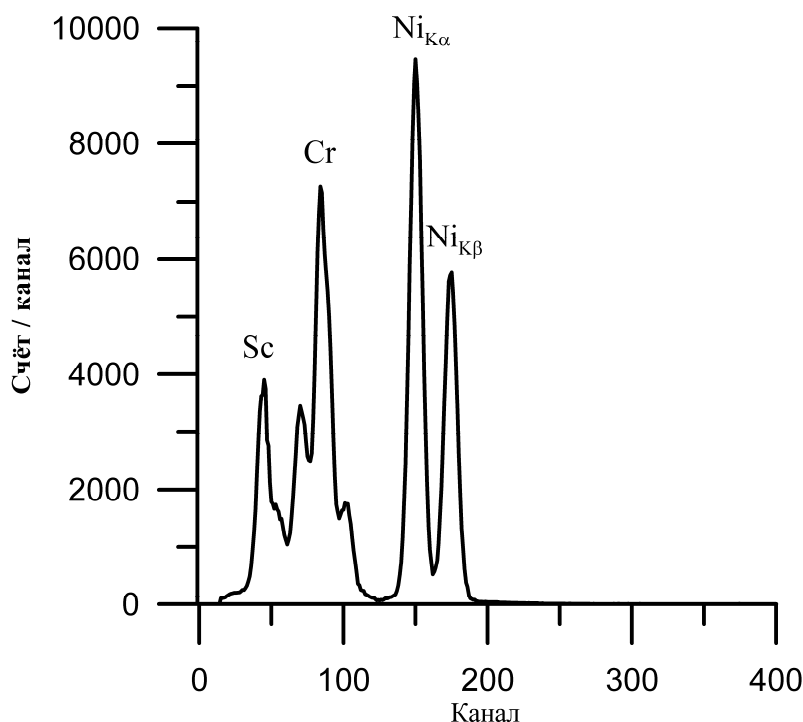


Рис.4. Спектр характеристического рентгеновского излучения образца никеля легированного скандием

Относительное среднее квадратичное отклонение S_r , характеризующее рассеяние результатов отдельных определений относительно их среднего значения, также как и ПО, зависит от условий анализа и параметров установки и аппаратуры. Представляет интерес выяснение доли вносимой погрешности на отдельных этапах анализа: изготовление стандартов, проведение измерений, обработка спектров. Проведенные измерения при указанных выше оптимальных экспериментальных условиях с использованием 22 одинаковых стандартов показали, что общая погрешность анализа ($S_{\text{общ}}$) равна 0,11. Спектр одного из этих стандартов был измерен при тех же условиях 10 раз. По измеренным спектрам была определена погрешность на этапе измерения и обработки результатов ($S_{\text{изм+обр}}$), она оказалась равной 0,02. Так как независимые погрешности складываются квадратически, то погрешность, вызванная неомогенностью ($S_{\text{негом}}$) определится из выражения: $S_{\text{негом}} = ((S_{\text{общ}})^2 - (S_{\text{изм+обр}})^2)^{1/2}$. Полученная величина $S_{\text{негом}} = 0,108$ свидетельствует, что неомогенность изготовленных стандартов вносит основной вклад в общую погрешность анализа.

Измерение стандартов с добавкой титана дало величину $S_r = 0,178$. Таким образом, титан, у которого энергия $K_{\alpha 2}$ -линии составляет 4504 эВ, что близко энергии $K_{\alpha 1}$ -линии скандия – 4090 эВ, является мешающей добавкой, вносящей дополнительную погрешность при определении скандия.

Правильность методики оценивалась сопоставлением результатов химического анализа и анализа по методу ХРИ. Для этого 3 образца легированного скандием никеля, полученных плавкой, были измерены с использованием предложенной методики и с использованием химического анализа в независимой лаборатории. В таблице 2 приведены полученные результаты.

Для разработанной методики время анализа одного объекта вместе с обработкой спектрометрической информации составляет около 20 минут.

Табл. 2. Результаты анализа образцов различными методами

Образец	Данные химанализа. Концентрация Sc, мас. %	Анализ по ХРИ. Концентрация Sc, мас. %
№20	0,008±0,001	0,009±0,001
№21	0,044 ±0,003	0,046 ±0,004
№22	0,53±0,01	0,50±0,05

Исследование диффузионных характеристик скандия в никеле

Для целенаправленного создания материалов, стабильных в различных условиях эксплуатации, в том числе под облучением, необходимо знание коэффициентов диффузии элементов входящих в их состав. Для скандия такие данные весьма малочисленны. Это объясняется тем, что часто для определения коэффициента диффузии используют радиоизотопный анализ, однако у скандия отсутствует изотоп с необходимыми характеристиками. Определение коэффициента диффузии скандия в никеле было выполнено в качестве исследования возможности практического применения разработанной методики анализа. Для проведения эксперимента были изготовлены образцы, полученные путём горячей прокатки трехслойной композиции никель-скандий-никель при температуре 800°C. Толщина исходных пластин никеля составляла 2 мм, скандия – 100 мкм. После прокатки толщина слоёв никеля уменьшилась до 1000 мкм, а толщина скандия – составила 80 мкм. Полученный композиционный материал был разрезан на образцы размером 10x10мм. Исследуемые образцы отжигались в течение 1 часа при температуре 1150°C. Для получения информации о профиле концентрации скандия по глубине образцы после каждого измерения подвергались шлифовке и последующей электрополировке. Контроль толщины удалённого слоя проводился с помощью микрометра. После получения профилей концентраций скандия в образцах был вычислен коэффициент диффузии скандия в никеле. Его величина оценивается $\sim 2 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$, что по порядку величины согласуется с теоретическими оценками.

ВЫВОДЫ

Методика определения содержания скандия в никеле, разработанная при выполнении данной работы показала эффективность использования метода регистрации х.р.и., возбуждаемого протонами, для решения этого класса задач. Достигнуты достаточно низкие пределы обнаружения и высокая экспрессность анализа, что позволяет использовать методику при разработке и совершенствовании технологии легирования никеля скандием, а также для контроля качества готовых изделий. При незначительной доработке, методика может быть применена для определения более широкого круга анализируемых элементов. Возможен многоэлементный анализ не только в мономатрице, но и в сплавах, например, в сталях. Помимо чисто аналитического применения, методика позволяет решать некоторые задачи относящиеся к вопросам скорости и глубины проникновения примесей в объём матрицы, что продемонстрировано при определении коэффициента диффузии скандия в никеле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елесина О.П., Селиванов М.В. Роль кальция и РЗЭ в формировании структуры и свойств стали. Обзорная информация. Серия: Металловедение и термическая обработка. -Москва, 1985. -27с.
2. Амоненко В.М., Ванжа А.Ф., Неклюдов И.М. Влияние легирования РЗМ и условий кристаллизации на микрохимическую неоднородность аустенитных нержавеющей сталей // Научные ведомости. Белгородский госуниверситет. -2001. -№1(14). -С.160-165.
3. Неклюдов И.М, Ванжа А.Ф., Воеводин В.Н., Шевченко С.В., Рыбальченко Н.Д. Влияние уровня микролегирования РЗМ на структуру и свойства стали ЭК99 // Труды XVI международной конференции по физике радиационных явлений и радиационному материаловедению. -Алушта, Крым, 6-11 сентября 2004 г. Харьков, 2004. -С.258-259.
4. Паршин А.М., Виноградов И.В, Кириллов И.Б., Николаева О.В. Влияние микролегирования редкоземельными элементами на свойства сплавов // Научные ведомости. Белгородский госуниверситет. -2001.-№1(14). -С.180-183.
5. Зеленский В.Ф., Неклюдов И.М. Влияние редкоземельных элементов на радиационную стойкость материалов // Радиационное материаловедение (Труды Международной конференции по радиационному материаловедению, Алушта, 22-25 мая 1990 г.), т.2. Харьков, 1990. -С.45-47.
6. Зеленский В.Ф., Неклюдов И.М., Черняева Т.П. Радиационные дефекты и набухание металлов. -Киев: Наукова думка, 1988. -296с.
7. Зеленский В.Ф., Неклюдов И.М., Матвиенко Б.В. и др. Имитационные исследования эффектов радиационного набухания никеля и его сплавов. II. Изучение набухания никеля и его сплавов // Реакторное материаловедение (Труды конференции по реакторному материаловедению, Алушта, 29 мая – 1 июня 1978 г.), т.2. Москва, 1978. –С.21-43.
8. Волобуев А.В, Ганн В.В., Неклюдов И.М. и др. Отжиг радиационных дефектов в никеле легированном скандием. Эксперимент и моделирование на ЭВМ // Радиационное материаловедение (Труды Международной конференции по радиационному материаловедению, Алушта, 22-25 мая 1990 г.), т.2. Харьков, 1990. –С.58-69.
9. Спицин П.К. Спектрофотометрическое определение скандия в алюминиевых сплавах с высоким содержанием титана // Заводская лаборатория. -1983. –Т.49. - №10. -С.22-23.
10. Абляева Т.А., Алексеевский В.А. Физико-химические исследования синтетических и природных соединений. – Самарканд, 1984. -86с.
11. Шманенкова Г.И. и др. Методы анализа продуктов производства редкоземельных металлов и их соединений. ОНТИ Гиредмета, Москва, 1978. -74с.
12. Shtan A.S. Development of nuclear and physical methods of elemental analysis of substance composition in the USSR // Journal of Radioanalytical Chemistry. -1980. -V.59. -№2. -P.591-604.
13. Малютина Т.М., Шарова Н.А., Макрова Р.Ф. и др. Рентгенофлуоресцентный анализ руд концентратов редких металлов с изготовлением стекловидных излучателей в тиглях из стеклоуглерода // ЖАХ. -1983. -XXXVIII. -Вып.12. -С.2137-2142.

14. Способ рентгенорадиометрического анализа: А.с. №1759143 СССР, G01N 23/223/ А.П. Омельник, В.В. Левенец (СССР).
15. Бондаренко В.Н., Глазунов Л.С. и др. Аналитический ядерно-физический комплекс “Сокол” // Материалы V международной конференции “Взаимодействие излучения с твёрдым телом”, ВИТТ-2003. Минск, Беларусь, 2003. – С.329-331.
16. Левенец В.В., Омельник А.П., Щур А.А. Анализ редкоземельных элементов по характеристическому рентгеновскому излучению К-серии // ВАНТ. Сер. Вакуум, сверхпроводники, чистые металлы. -2004. -Вып. 6(14). -С.47-52.
17. Омельник А.П., Левенец В.В., Щур А.А. и др. Анализ гадолиния в реакторных сталях ядерно-физическими методами // ВАНТ. Сер. Вакуум, сверхпроводники, чистые металлы. -2000. -№5(11). -С.76-78.
18. Дедик А.Н., Ехичев О.И., Левенец В.В. и др. Камера для проведения элементного анализа на пучках тяжелых заряженных частиц // ВАНТ. Сер. Общая и ядерная физика. -1981. -Вып. 2(16). –С.48-49.
19. Мельник В.В., Третьяк В.Г., Бочаров В.А., Рыбалко В.Г. Метрологические характеристики аналитических методик // ВАНТ. Сер. Общая и ядерная физика. -1987. -Вып. 1(37). –С.87-89.
20. Вольдсет Р. Прикладная спектрометрия рентгеновского излучения. -Москва: Атомиздат, 1977. -192с.
21. Paul H and Sacher J. Fitted Empirical Reference Cross Sections for K-Shell Ionization by Protons // At. Data and Nucl. Data Tabl. -1989. -V.42. –P.105-110.
22. Дедик А.Н. Программа обработки спектров ХРИ, возбуждаемого протонами // ВАНТ. Сер. Общая и ядерная физика. -1979. -Вып.2(8). -С.16-18.
23. Рушинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. -Москва: Наука, 1971. -193с.

USE PIXE FOR DETERMINATION OF SCANDIUM IN NICKEL

O.P. Omelnyk, V.V. Levenets, A.O. Shchur

National Science Center “Kharkov Institute of Physics and Technology”

6110. Academic 1 street, Kharkiv, Ukraine.

This article devoted to development of a technique and principles of the analysis of the contents of scandium in a nickel matrix with registration of protons induced characteristic x-ray emission. For achieve of the best analytical characteristics have been investigated influence on them of various parameters of measurement: energy of protons, a material of the x-ray filter and its thickness. Standard samples have been made. Metrological characteristics of the developed technique are investigated. With use of the developed technique and the modernized equipment the diffusion constant of scandium in nickel is determined.

KEY WORDS: protons, X-ray emission, scandium, nickel, diffusion.