

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СОЗДАНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ

В.М. Ажажа, Б.В. Борц, А.Ф. Ванжа, Н.Д. Рыбальченко Э.П. Шевякова

ИФТТМТ Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина; E-mail: van@kipt.kharkov.ua

Проведен анализ применения редкоземельных элементов (РЗЭ) для создания конструкционных материалов атомной промышленности Украины. Систематизированы данные по выявлению форм нахождения РЗЭ в природе в виде минералов, которые аккумулируют эти элементы в составе гранитных и щелочных пород, широко распространенных в горных массивах и месторождениях Украины. Рассмотрены основные источники получения РЗЭ. Проанализированы основные современные методы и способы получения РЗЭ. Разработаны методы получения лигатур РЗЭ для повышения радиационной стойкости металлов и сплавов.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы возросла область использования редкоземельных элементов [1-4] при получении специальных сталей и сплавов в атомной технике, в микроэлектронике и радиотехнике.

Добавки РЗЭ в небольшом количестве улучшают структуру, пластичность, прочность, ударную вязкость. Примеси РЗЭ ведут к возрастанию жаропрочности, остаточной краснотемпературы Cr-Ni-сталей и увеличивают их пригодность к прокатке (Cr, Ni-Mo-сталей).

В атомной технике используются РЗЭ с высоким поперечным сечением захвата тепловых нейтронов (Gd – 46618 барн, Sm – 6500 барн, Eu – 4500 барн) для защиты от излучения и для управления работой реакторов (стержни регулирования и аварийная защита).

Находят применение радиоактивные изотопы Lu в медицине, радиоэлектронике и радиотехнике. Гранаты РЗЭ используются в роли высокомолекулярных генераторов и усилителей (мазеров) на солях Gd и La [3,4]. Изотопы ^{147}Pm применяются при изготовлении микробатарей. РЗЭ используются при кристаллизации соединений типа CaF_2 и др., применимых в лазерных устройствах.

Оксиды РЗЭ входят в состав оптических и фоточувствительных стекол, пропускающих инфракрасное и поглощающих ультрафиолетовое излучения. Легирование Ce способствует повышенной стойкости стекла при солнечном и радиоактивном излучении. Сплавы РЗЭ (типа SmCo_5) используются в микро- и радиоэлектронике для изготовления постоянных магнитов.

Улучшение механических свойств сталей в результате микролегирования РЗЭ большинство исследователей относят за счет изменения формы нематаллических включений, а повышение радиационной стойкости материалов возможно благодаря подбору сочетания дополнительно вводимых в стали и сплавы элементов [1,3,5]. Так, легирование сплавов некоторыми из редкоземельных металлов способно существенно повышать радиационную стойкость изделий, находящихся в активной зоне.

В настоящее время наиболее экономически выгодным способом создания материалов для новой

техники, пригодных для эксплуатации в условиях мощных тепловых и радиационных полей, является усовершенствование технологии выплавки металлов и сплавов, которые уже используются, а также улучшение их свойств за счет микролегирования РЗЭ.

ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ РЗЭ

В ННЦ ХФТИ подробно исследовалось влияние химически активных элементов Ce, Y, La, Pr, Nd и Sc на физико-механические свойства никеля. Незначительно меняя общую чистоту и физические свойства, химически активные элементы существенно изменяют структуру и механические свойства металлов. Сравнительная температурная зависимость механических свойств сплавов никеля с церием, иттрием и лантаном, было определено [6], что введение этих элементов в никель приводит к ликвидации «провала» относительного удлинения в интервале 200...400 °С и повышению пластических характеристик в интервале температур 20...600 °С (рис.1).

Можно отметить, что легирование никеля церием, лантаном, неодимом, празеодимом, скандием в количестве 0,13...0,20 мас.% оказывает существенное влияние на его свойства: увеличивает прочностные свойства в интервале температур 20...1000 °С, повышает сопротивление пластической деформации в условиях ползучести; значительно уменьшает (Ce, Y, La) или полностью ликвидирует (Pr, Nd, Sc) аномалию относительного удлинения в интервале 200...400 °С, характерную для чистого никеля.

Наибольшее влияние на механические свойства никеля оказывает скандий (рис. 2).

Учитывая положительное воздействие РЗЭ на свойства никеля, в ННЦ ХФТИ были проведены эксперименты по изучению концентрационной, температурной и дозовой зависимости распухания никеля при облучении ионами Ni^+ с энергией 1...3 и 1 МэВ электронами [7]. Полученные результаты показывают, что малые добавки Sc и Pr приводят к подавлению радиационного распухания никеля (рис. 3).

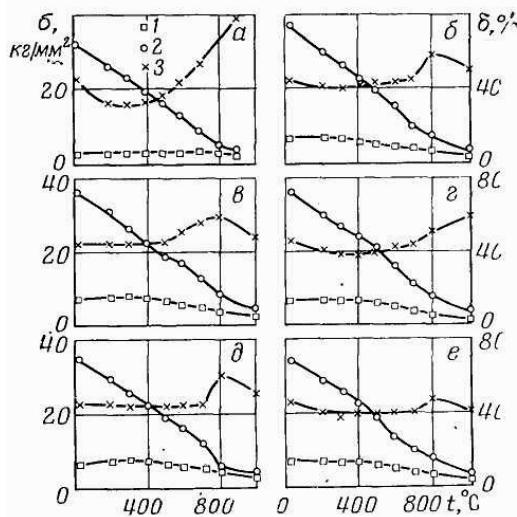


Рис. 1. Температурные зависимости предела текучести (1), предела прочности (2) и относительного удлинения (3) никеля и его сплавов с 0,13 мас.% Ce (б), Nd (в,) Y (з), Zr (д), La (е) после отжига при 750 °С в течение 20 мин

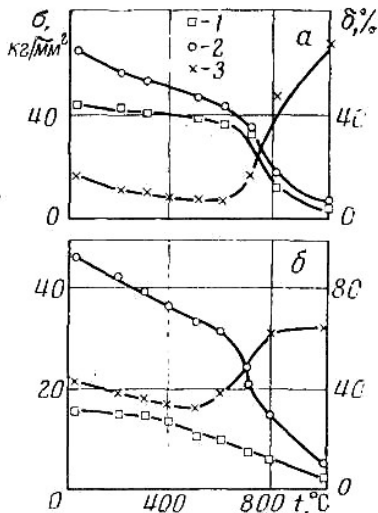


Рис. 2. Температурные зависимости предела текучести (1), предела прочности (2) и относительного удлинения (3) сплава никеля с 0,2 мас.% Sc после отжига: а - 750 °С в течение 20 мин, б - 800 °С в течение 60 мин

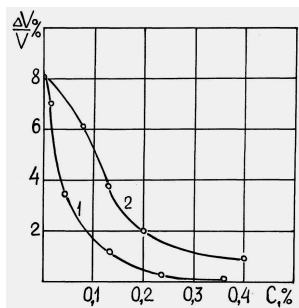


Рис. 3. Зависимость распухания никеля от содержания Sc (1) и Pr (2) после облучения ионами Ni⁺ с энергией 2 МэВ до дозы 40 снА при 600 °С

На основании проведенных исследований было изучено влияние легирования скандием на структурно-фазовые изменения, распухание и пластичность

аустенитных сталей, применяемых в реакторостроении: X18НЮТ, X16Н15МЗБ, X16НПМЗ и др. при нейтронном и ионном облучении. Обнаружена подобная приведенной на рис.3 для никеля зависимость распухания сталей от концентрации скандия. Влияние скандия на структурно-фазовые изменения, распухание и пластичность аустенитных сталей типа X18НЮТ, X16Н15МЗБ, X16НПМЗ и др. при нейтронном и ионном облучении показано на рис. 4.

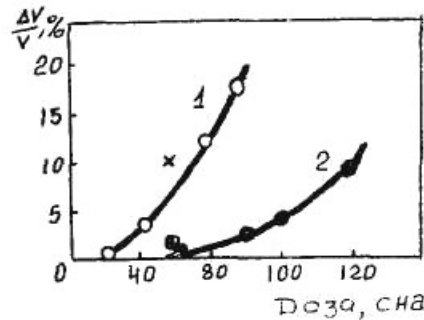


Рис. 4. Зависимость распухания сталей 0X16Н15МЗБ (1) и 0X16Н15МЗБ со скандием (2) от дозы облучения ионами Cr⁺ (1 МэВ) при температуре 650 °С (x, ● - данные реакторных испытаний)

Введение в металлы и сплавы добавок редкоземельных элементов, обладающих сильным сродством к газовым и другим элементам внедрения, приводит к изменению их свойств. Наличие в твердом растворе даже малого количества иттрия, лантана, скандия, цезия заметно изменяет диффузионную подвижность атомов, упругие поля дислокаций и границ раздела, а следовательно, и природу, кинетику выделений. Особый интерес представляют исследования влияния РЗЭ на эволюцию структурно-фазового состояния и стойкость материалов при облучении. Величина эффекта влияния РЗЭ на радиационную стойкость зависит от их концентрации, наличия газовых примесей в твердом растворе и других факторов. Положительное влияние микролегирования РЗЭ может быть объяснено увеличением плотности центров зарождения вторичной фазы и усилением распада исходного метастабильного твердого раствора [7,8].

ГЕОХИМИЯ РЗЭ

Общее содержание РЗЭ в земной коре составляет $1,78 \cdot 10^{-2}$ мас.% [9-12]. Они накапливаются при магматических процессах породообразования главным образом в гранитах и щелочных породах (сиенитах и карбонатитах) [10]. Их наибольшие концентрации находятся в минеральных ассоциациях, связанных с поздними этапами формирования кристаллических массивов: гидротермальным, контактово-пневматолитовым и пегматитовым [10-12].

Геохимические особенности РЗЭ очень подобны, часто они встречаются в виде изоморфных примесей в составе акцессорных или полиметаллических рудных минералов [10], реже образуют самостоятельные соединения, которые выступают в качестве рудных концентратов (табл. 1).

Основные промышленные минералы, содержащие РЗМ, %

Минерал	Химическая формула	Группа Се	Группа Y
Монацит	LnPO_4 с ортофосфатом Th	42,3...66,9	0,5-4,8
Бастнезит	LnFCO_3	73...75	Малое количество
Церит	Гидратированный силикат Ln	59,4...67,9	-
Лопарит	Титанониобат щелочей Ca, Ln	30,7...34,1	-
Ортит	Гидратированный силикат Al, Ln, Ca, Fe	13,4...27,4	-
Иттроцерит	Гидратированный фторид Ca, La, Y	8,5...15,5	-
Ксенотим	Ортофосфат Y, Ln	0,3...0,4	51,9...62,6
Гадолинит	Силикат Y, Ln, Be, Fe	2,9...7,9	30,9...46,6
Эвксенит	Титанониобат Y, Ln	0,2...4,3	18,2...28,1
Фергюсонит	Ниоботитаноганталат Y, Ln, Fe	0,9...6,2	31,2...37,7
Самарскит	Пиротанталониобат Y, Ln	0,3...1,7	9,1...37,7
Тортвейтит	Силикат Sc, Y	Sc_2O_3 ...42,06	Y_2O_3 ...8,89
Бритолит	Водный силикат Ca, Y	10,23	46,91
Цирконит	Сложный оксид Zr, Ti, Ca, Fe, Th	2,52	0,21

МИНЕРАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЗЭ В УКРАИНЕ

В Украине присутствуют наибольшие в Европе месторождения РЗЭ, связанные с обширной редкоземельной провинцией в пределах Украинского кристаллического щита (УКЩ), где установлено 22 редкоземельные формации ранне- и позднепротерозойских этапов тектонической активности магматических и метасоматических процессов [10, 22, 23].

Наиболее перспективные месторождения РЗЭ связаны с комплексом акцессорных минералов, представленных в щелочных гранитосиенитовых и карбонатитовых массивах Приазовья [13-15, 19-21]: Володарском, Октябрьском, Кременецком (табл.2) и др.

В настоящее время разведаны и подготовлены к промышленному освоению комплексные месторождения апатит-редкоземельно-ниобиевой минерализации (Новополтавское) и флюорит-цирконий-редкоземельных руд (Азовское) [19].

Азовское месторождение приурочено к щелочным сиенитам и представляет собой наибольшее в Европе. Оруденение связано с метасоматитовыми такситовой структуры оливин-амфиболитовыми щелочно-полевошпатовыми разновидностями сиенитовых пород. В последние годы в Криворожско-Кременчугской металлогенической зоне (месторождение Желтых Вод) разведаны V-Sc-руды, среди пород с высокими концентрациями U и Fe. Создана технология получения Sc из этих руд.

Геохимическая специализация месторождений связана с повышенным содержанием Sc (7...9,5%), Cr (2,05...2,65%) и кларковым содержанием Y, La, Sr, Mo. Наиболее высокая концентрация РЗЭ установлена в породообразующих пироксенах и амфиболах (до 1000 г/т) (табл. 2, 3) [15-19].

Таблица 2

Акцессорные ассоциации докембрийских пород Приазовья

Минералы	Среднее содержание минералов в породах, г/т			
	УЩ	Приазовье	Южнокальчикский комплекс	Азовское месторождение
Циркон ZrSO_4	300	522	1600	19000
Ортит $(\text{Ca}, \text{Ca})_2(\text{Fe}, \text{Ti}, \text{Al}, \text{Mg})_3[\text{SO}_4]$	43,87	141,3	-	6400
Бритолит $\text{Ce}_3\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})$	-	13	-	8800

Среднее содержание аксессуарных минералов, содержащих РЗМ в породах Украинского щита

Минералы	Содержание РЗМ, % (ΣTR – суммарное, TR_y – иттриевая группа)							
	УЩ (массив)		Приазовье		Южнокальчикский комплекс		Азовское месторождение	
	ΣTR	TR_y	ΣTR	TR_y	ΣTR	TR_y	ΣTR	TR_y
Циркон $ZrSO_4$	0,25	0,14	0,7	0,41	0,8	0,52	1,56	0,82
Ортит $(Ca, Ca)_2(Fe, Ti, Al, Mg)_3[SO_4]$	23,02	0,34	21,14	0,21	22,8	0,27	28,98	0,83
Бритолит $Ce_3Ca_2(SO_4)_3 \cdot (OH)$	-	-	59,6	2,39	58,04	2,32	61,65	10,7

ПОЛУЧЕНИЕ РЗЭ

Основным источником получения РЗМ цериевой подгруппы (La – Eu) выступают минералы: монацит (фосфат РЗЭ и Th), бастнезит (фторкарбонат РЗЭ) и лопарит (сложный титанониобат Na, Ca и РЗЭ). При получении РЗМ иттриевой подгруппы (Y, Gd – Lu) используют минералы: эвксенит (сложный оксид Ti, Ta, Y), фергусонит (тантало-ниобат РЗЭ, Y), ксенотим (фосфат Y с РЗЭ, Th и U), гадолинит (силикат Y, Fe, Be), а при получении Sc – тортвейтит (силикат Sc и Y).

Для получения РЗМ бастнезитовые и монацитсодержащие концентраты разлагают концентрированной серной кислотой при нагревании до 200 °С с последующим промыванием массы водой [10–12, 14, 17]. Из сернокислых растворов сначала выделяют Th, а затем осаждают РЗЭ в виде оксалатов, двойных сульфатов и других соединений. Бастнезитовые концентраты прокачивают при 400...800 °С для частичного или полного разложения минерала, сопровождающегося выделением CO_2 . Полученные продукты обрабатывают соляной кислотой. Из раствора осаждают РЗЭ в виде фторидов или двойных сульфатов, или получают экстракцией трибутилфосфатом. Сложное сырье в виде минералов эвксенита или лопарита перерабатывают методом хлорирования.

Для получения металлического Sc используют главным образом его галогениды, которые получают из Sc_2O_3 , при прокаливании $Se_2(C_2O_4) \cdot 5H_2O$ при 400 °С. Это соединение является результатом последовательной переработки раздробленных Sc рудных аксессуарных минералов (тортвейтита).

Металлические РЗЭ получают также при металлотермическом восстановлении галогенидов или при электролизе расплава хлоридов в эвтектике $KCl + ZrCl$ (для Sc), в солевых расплавах $KCl + CaCl_2$ или $KCl + NaCl$ (для других РЗЭ). В случае более тугоплавких металлов (Y подгруппы) электролиз проводят с жидким катодом из Cd или Zn, которые затем отгоняются в вакууме.

ПЕРЕРАБОТКА СКАНДИЙСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Проблема промышленного получения скандия может быть решена при использовании рассеянного скандия, извлекаемого попутно из руд цветных и редких металлов. При концентрировании скандия в отходах производства (растворах,

шламах, шлаках и пр.) создаются условия для извлечения без нарушения основной технологии [5,10].

Титановое сырье. В титановом сырье содержится Sc_2O_3 (до 0,1% в ильмените, до 0,3% в сфене). При обогащении ильменитовых концентратов путем восстановительной электроплавки скандий переходит в титановый шлак. В титановом шлаке, получаемом в результате восстановительной плавки титаномагнетитов, содержится 0,005...0,009% скандия.

Цирконийсодержащие руды. Цирконы и другие минералы циркония содержат 0,001...0,08% Sc_2O_3 . При переработке цирконового концентрата спеканием известью и хлоридом кальция скандий концентрируется в основном в маточниках после выделения основного сульфата циркония.

Руды вольфрама. Содержание Sc_2O_3 в вольфрамитах 0,005...1,0%. При гидрометаллургической переработке, включающей спекание концентрата с Na_2CO_3 и последующее выщелачивание, скандий остается в кеке от выщелачивания, и его содержание повышается в 2...3 раза по сравнению с содержанием в вольфрамите.

Руды урана. Содержат $10^{-3} \dots 10^{-4}$ % Sc_2O_3 . При вскрытии урановых руд серной или азотной кислотами скандий переходит вместе с ураном в раствор. При вскрытии руд растворами Na_2CO_3 скандий в основном концентрируется в кеках. Отвальные кеки гидрометаллургической переработки содержат РЗЭ и 0,15...0,50% Sc_2O_3 .

Руды алюминия. Бокситы содержат 0,001...0,01% Sc_2O_3 . Ввиду больших масштабов переработки бокситы могут стать важным источником скандия. При переработке бокситов по способу Байера и способу спекания скандий преимущественно остается в красном шламе.

Другие источники скандия. Некоторые железные руды (содержание 0,001...0,005% Sc_2O_3), руды олова (0,02...0,22% Sc_2O_3), концентраты берилла (0,1...0,2% Sc_2O_3), золы некоторых углей (0,01 % Sc_2O_3), фосфориты.

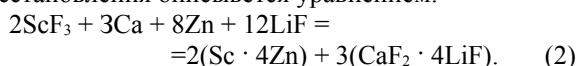
ПОЛУЧЕНИЕ ЛИГАТУР СКАНДИЯ ИЗ ЕГО ФТОРИДОВ

Скандий получают в основном металлотермическим способом путем восстановления безводного

ScF₃ или ScCl₃ магнием или кальцием в инертной атмосфере по реакции



Процесс ведут в тиглях из тантала или молибдена. В связи с тем, что скандий и шлак разделяют при температуре выше 1600 °С, фторид скандия восстанавливают вначале при 850 °С, повышая в конце процесса температуру до 1600 °С. После отделения шлака металл переплавляют в вакууме 10⁻³Па для удаления остатков летучих примесей. Сохраняя тот же вакуум, возгоняют скандий при 1700 °С. Выход чистого металла достигает 95%. Чтобы уменьшить загрязнение скандия танталом, рекомендуется добавлять металлы, образующие со скандием сплавы и позволяющие проводить восстановление при более низкой температуре. При магнийтермическом восстановлении берут избыток магния для образования сплава Sc-Mg. При восстановлении кальцием вводят дополнительно цинк, поскольку сплав Sc-Ca не образуется. Для понижения температуры плавления шлака вводят LiF. Реакция восстановления описывается уравнением:



Процесс ведут в аргоне при 1100 °С. Цинк и смесь кальция отгоняют в вакууме. Губку скандия переплавляют. Известен также способ восстановления ScF₃ алюминием:



Реакция начинается при 810 °С. Полное восстановление скандия происходит при 930 °С через 7...8 мин. Восстанавливая хлорид скандия кальцием при 900 °С в среде аргона, получают металл, загрязненный примесями Ca, CaO, CaCl₂, Si, ScCl₃. Примеси за исключением кремния отмываются водой. Кремний отделяют обработкой 10% раствором NaOH. Высушенный на воздухе, а затем в вакууме (10⁻² Па) металл после плавления в вакууме (10⁻³...10⁻⁴Па) при 500...600 °С имеет чистоту 97...97,5%. Содержание основного редкоземельного элемента технической чистоты, который, как правило, получают методом металлотермии, обычно колеблется в пределах 80...98%. Поэтому возникает необходимость очистки РЗЭ в металлическом состоянии от примесей металлов и неметаллов.

В ННЦ ХФТИ на протяжении многих лет проводятся исследования процессов рафинирования РЗМ (лантана, церия, иттрия, диспрозия, скандия и др.). Среди методов, применяемых для очистки металлов, используются наиболее прогрессивные методы: вакуумная плавка, дистилляция, зонная плавка, зонная плавка в сочетании с электропереносом [24], при этом происходит дегазация, испарение и поглощение избыточных примесей. Существуют оптимальные условия, обеспечивающие наиболее высокую степень очистки редкоземельных металлов. Так, при проведении дистилляции в вакууме происходит существенное рафинирование скандия (табл. 4).

Таблица 4

Содержание примесей в скандии

Материал	Концентрация примеси 10 ⁻³ , мас.%								
	C	O ₂	F	Al	Si	Ca	Mn	Fe	Ni
Исходный	2,3	110	1,3	1,5	1,2	1,1	1,1	1,4	1,9
Дистиллят	0,35	81	0,002	0,47	0,71	0,3	0,23	0,27	0,3

Исследования механических свойств скандия различной чистоты показали, что повышение степени чистоты скандия до 99,9 мас.% снижает его прочностные свойства и увеличивает пластичность, причём дистиллированный скандий высокой чистоты можно прокатывать при комнатной температуре без промежуточных отжигов с деформацией 60...65% [25].

Следует отметить, что чистые РЗЭ являются дорогостоящими, кроме того, при легировании радиационно-стойких сталей и сплавов возникают технологические трудности обеспечения их равномерного распределения в твердом растворе, где их действие на радиационную стойкость оптимально [7,8]. При выплавке сплавов РЗЭ из-за высокой химической активности взаимодействует со шлаком, покрывающим расплав, и практически не поступает в металл. Кроме того, РЗЭ имеют высокую упругость паров [5], а скандий, кроме того, имеет низкую плотность, поэтому при введении в чистом виде (даже в защитной атмосфере) их расход необоснованно велик. Более экономически оправдано получить лигатуры РЗЭ из их химических соедине-

ний, применяя методы металлотермического восстановления.

Для получения скандий-содержащей лигатуры из фторида скандия была выбрана система Fe-Sc. Она (рис. 4) характеризуется наличием двух соединений: Fe₂Sc и FeSc₃. Соединение Fe₂Sc конгруэнтно плавится при 1600 °С, FeSc₃ образуется по перитектической реакции при 800 °С. Две эвтектические реакции: Ж↔Fe₂Sc+γ и Ж↔β-Sc+Fe₂Sc протекают соответственно при 1200 и 910 °С, эвтектоидная β-Sc↔α-Sc + FeSc₃ – при 750 °С. Растворимость скандия в α-Fe ниже 0,5·10⁻² ат.д., железа в α-Sc такая же при 20 °С и примерно 0,008 ат.д. при 700 °С.

Эксперименты проводились в ННЦ ХФТИ. В качестве материала-основы было выбрано чистое железо марки 008ЖР. Железоскандиевая лигатура получалась методом кальциетермического восстановления фторида скандия с добавлением порошка железа из расчета эвтектического состава сплава (91% железа).

Продукты реакции подвергались вакуумному рафинирующему переплаву, в результате которого образовались фториды кальция и скандия, а также

непрореагировавший кальций (в силу своей малой плотности и несмачиваемости расплавом железоскандиевой эвтектики) всплывали на поверхность расплава, легко отделяясь при остывании слитка.

Металлографические исследования показали наличие железоскандиевой эвтектики в матрице из чистого α -железа (рис. 5).

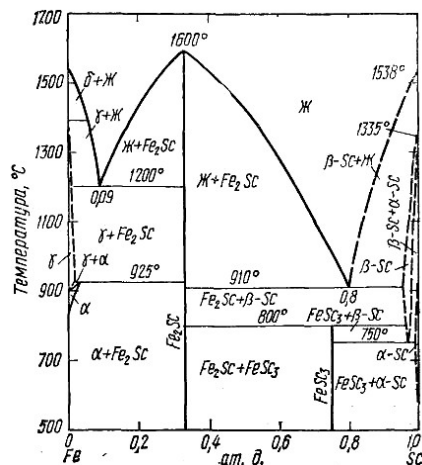


Рис. 4. Диаграмма состояния системы Fe-Sc [5]



Рис. 5. Микроструктура железоскандиевой лигатуры, $\times 200$

Эвтектика имеет вид дендритов, размеры которых увеличиваются от краев слитка к середине, что обусловлено термическими условиями кристаллизации. У края слитка длина главной ветви дендритов составляет 100...200 мкм, ширина - около 5 мкм, а в середине - 350...400 мкм и 30 мкм соответственно. Плотность железоскандиевой лигатуры, содержащей 7,62% скандия, составила 7,46 г/см³. Лигатура легко измельчалась механическим способом.

Эксперименты по легированию радиационно-стойких сталей и сплавов железоскандиевой лигатурой показали хорошую усвояемость скандия - от 55 до 70% от введенного, причем скандий и остальные компоненты лигатуры успевают полностью раствориться в объеме расплава до его слива в изложницу. Это можно объяснить высокой удельной поверхностью составляющих лигатуру частиц и слабым сцеплением отдельных частиц порошка между собой (но недостаточным для механической устойчивости при термоударе в момент введения на зеркало расплава).

Использование разработанных в НИЦ ХФТИ методов получения РЗЭ и их лигатур позволяет повысить радиационную стойкость металлов и сплавов за счёт равномерного твердорастворного легирования с одновременным обеспечением чистоты границ зёрен по неметаллическим примесям внедрения.

ВЫВОДЫ

Анализ кристаллохимических, геохимических и минералогических особенностей РЗМ позволяет высоко оценивать перспективы получения и использования наиболее продуктивных цирконовых, ортитовых и бритолитовых руд, которые разрабатываются на основных месторождениях Украины: Азовском и Желтых Вод, в частности для создания конструкционных материалов атомной промышленности Украины. Запасы РЗМ на этих месторождениях достигают по оценкам 7309,5 г/т, что делает их наибольшими в Европе [5,20].

Разработаны экономически оправданные методы получения РЗЭ и железоскандиевых лигатур для создания новых радиационно-стойких конструкционных материалов для атомной промышленности Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.П.Браун *Микролегирование стали*. Киев: «Наукова думка», 1982, 303 с.
2. Я.Е.Гольдштейн, В.Г.Мизин. *Модифицирование и микролегирование чугуна и стали*. М.: «Металлургия», 1986, 272 с.
3. Н.М. Бескорвайный, Б.А. Калинин, П.А. Платонов, И.И. Чернов. *Конструкционные материалы ядерных реакторов*. М.: «Энергоатомиздат», 1995, 704 с.
4. Д.М.Скоров, Ю. Ф.Бычков, А.М.Дашковский. *Реакторное материаловедение*. М.: «Атомиздат», 1979, 344 с.
5. Е.М.Савицкий, Г.С. Бурханов. *Редкие металлы и сплавы. Физико-химический анализ и материаловедение*. М.: «Наука», 1980, 255 с.
6. В.М Ажажа, М.П. Зейдлиц, С.В. Шевченко, В.М.Амоненко. Влияние химически активных элементов на свойства никеля электронно-лучевой плавки // *Металлы*. № 4, 1973, с. 157-159.
7. В.Ф. Зеленский, И.М. Неклюдов Влияние редкоземельных элементов на радиационную стойкость материалов Радиационное материаловедение // *Труды Международной конференции Харьков*, 1991, т.2, с. 45-57.
8. A.S.Bakaj, V.V.Gann, V.F.Zelensky, I.M.Neklyudov. Alternative polarity recombination centers of Point Defects // *Effects of Radiation on materials*. 1990, vol.1, p.623-631.
9. *Атлас. Геологія і корисні копалини України*. Київ. 2001, 168 с.
10. В.В.Серебренников. *Химия редкоземельных элементов*. Томск: Изд. Томск. ин-та, 1959, т.1, 2., 115 с.

11. Ф.Коттон, Дж.Уилкинсон. *Современная неорганическая химия*. М.: «Мир», 1969, 590 с.
12. Р.Рипан, И.Чептяну. *Неорганическая химия*. М.: «Мир», 1972, т.2, 871 с.
13. *Петрология, геохимия и рудоносность гранитоидов Украинского щита*. Киев: «Наукова думка», 1990, 235 с.
14. Ю.Ю.Юрк. *Редкие минералы пегматитов Приазовья*. Киев.: «Наукова думка», 1956, 68 с.
15. В.С.Мельников, Д.К.Возняк, Е.Е. Гречановская и др. Азовское цирконий-редкоземельное месторождение: минералогические и генетические особенности // *Мінер. журн.* 2000, №1, с. 42–61.
16. *Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов*. М.: «Наука», т. 1, 2, 1964, 687с, 321 с.
17. Свойства и применение РЗМ / *Материалы конф. по РЗМ. Чикаго*. М.: Изд. иностр. лит., 1960, 540 с.
18. *Акцессорные минералы Украинского щита*. Киев.: «Наукова думка», 1976, 260 с.
19. Г.П.Воякова, С.Н.Стрекозов. Минерало-геохимические критерии редкоземельной специализации докембрийских комплексов Приазовья // *Труды Дон. ГУ, серия: Горно-геол.* 2001, вып. 24, с. 120-124.
20. Е.К.Есипчук. *Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных гранитоидов Украинского щита*. Киев.: «Наукова думка», 1990.
21. С.Н. Стрекозов. Геологическое строение и характер оруденения Азовского месторождения // *Минер. ресурсы Украины*. 1998, №3, с. 6–9.
22. Р.М.Полуновский, К.И.Роданов. Акцессорные минералы докембрия Приазовья // *Акцессорные минералы докембрия*. М.: «Наука», 1986, с. 88–95.
23. Ю.Ю.Юрк, Е.Я.Марченко, А.И.Чешка. *Акцессорные минералы и элементы гранитоидов докембрия Приазовья*. Киев: «Наук. думка», 1973, 160 с.
24. В.М. Ажажа, П.Н. Вьюгов, С.Д. Лавриненко, В.С. Павлов, Н.Н. Пилипенко, Г.Ф. Тихииский. Рафинирование редкоземельных металлов физическими методами // *Высокочистые вещества*. 1993, № 2, с. 5-12 .
25. В.М. Ажажа, Г.И.Волокита, С.Д.Лавриненко, П.Н.Вьюгов, Т.Г.Емлянинова. Механические свойства скандия различной чистоты // *ВАНТ. Серия «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники»*, 2002, № 1, с. 44-46.

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РІДКІСНО-ЗЕМЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ СТВОРЕННІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ АТОМНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

В.М. Ажажа, Б.В. Борці, О.Ф. Ванжа, Н.Д. Рибальченко, Е.П. Шевякова

Проведено аналіз застосування рідкісноземельних елементів (РЗЕ) для створення конструкційних матеріалів атомної промисловості України. Систематизовані дані по виявленню форм знаходження РЗЕ у природі у вигляді мінералів, які акумулюють ці елементи у складі гранітних та лужних порід, широко розповсюджених у горних масивах і родовищах України. Розглянуто основні джерела отримання РЗЕ. Проаналізовані основні сучасні методи і засоби отримання РЗЕ. Розроблено методи отримання лігатур РЗЕ для підвищення радіаційної стійкості металів і сплавів.

POSSIBILITY OF THE USE OF REAR-EARTH ELEMENTS FOR DEVELOPMENT OF STRUCTURAL MATERIALS FOR NUCLEAR INDUSTRY OF UKRAINE

V.M. Azhazha, B.V. Borts, A.F. Vanzha, N.D. Ribaltchenko, E.P. Shevyakova.

Analysis of the use of rear-earth elements for development of structure materials of nuclear industry of Ukraine is carried out. Data are classified on the detection of REE natural occurrence as minerals, accumulating these elements in the composition of granite and alkaline rocks widely extended in rock mass and deposits of Ukraine. The main sources of REE production are considered. The main modern methods and processes of REE production are analyzed. Methods are developed for REE alloying composition fabrication for the increase of radiation resistance of metals and alloys.