

КИСЛОРОДНОЕ ИНГИБИТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В РАСПЛАВАХ ЭВТЕКТИКИ СВИНЕЦ-ВИСМУТ И СВИНЦА

Б.Ф.Громов, Г.С.Ячменев, А.Е.Русанов

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И.Лейпунского, г.Обнинск



Рассмотрены вопросы пассивационной защиты конструкционных материалов в ТЖМТ в зависимости от концентрации O_2 растворенного в жидко-металлической среде. Показано, что при поддержании концентрации O_2 растворенного в теплоносителе, на определенном уровне стали пассивируются. На их поверхности формируется защитная окисная пленка, которая существенно повышает коррозионную стойкость материала. Наиболее эффективное влияние на защитные свойства окисных пленок оказывает легирование сталей кремнием ($\sim 1\div 3\%$ масс).

Материаловедческие исследования по обоснованию выбора конструкционных материалов применительно к ЯЭУ с ЖМТ были развернуты в ФЭИ по инициативе профессора В.С.Ляшенко.

Проблема разработки и обоснования выбора конструкционных материалов применительно к ЯЭУ с Pb-Bi теплоносителем оказалась более сложной, чем для ЯЭУ с натриевым теплоносителем [1].

Уже на начальном этапе исследований было установлено, что Pb и, особенно, Bi, отличаются высокой коррозионной агрессивностью относительно металлов, сталей и сплавов.

Было показано, что хромоникелевые стали аустенитного класса имеют более низкую коррозионную стойкость, чем безникелевые стали перлитного, ферритного и ферритно-мартенситного классов. Это обоснованно связывалось с существенно большей растворимостью Ni в Pb и особенно в Bi по сравнению с Fe и Cr.

В большинстве исследований допустимая рабочая температура по параметру коррозионной стойкости в расплавах Pb, Bi и эвтектики Pb-Bi в условиях термического переноса масс была определена на уровне 400°C для хромоникелевых сталей аустенитного класса и 450°C для хромистых сталей ферритного и ферритно-мартенситного классов. Вместе с тем было показано, что хромоникелькремнистые стали (типа 1X20H14C2) и хромокремнистые стали (17 и 12%Cr) при испытаниях в потоке сплава Pb-Bi в контурных условиях при перепаде температур сохраняют коррозионную стойкость до температуры 600°C.

Разброс экспериментальных данных по коррозионной стойкости сталей одного и того же, или близких составов, в идентичных условиях термического переноса масс выходил за пределы обычного рассеяния результатов, и, по существу, не имел удовлетворительного объяснения. Наиболее резко разброс экспериментальных данных проявил-

ся при легировании сталей кремнием. В одних опытах стали, легированные кремнием (~1÷3%масс), обладали существенно большей коррозионной стойкостью, чем бескремнистые стали. В других опытах не было обнаружено сколько-нибудь заметного повышения коррозионной стойкости сталей при их легировании кремнием.

В связи с нестабильностью результатов по коррозии начались исследования защитных антикоррозионных покрытий на сталях применительно к оболочкам твэл. Положительные результаты в этом направлении были получены, в частности, при азотировании, термодиффузионной бериллизации и молибденировании.

Антикоррозионная защита сталей посредством азотирования тонкостенных оболочек твэл не нашла практического применения в связи с их охрупчиванием при использовании разработанной технологии.

Защита оболочек твэл из хромоникелевой стали ЭИ211 (1Х20Н14С2) посредством бериллизации была разработана ВНИИНМ и внедрена в ЯЭУ с Pb-Bi теплоносителем в реакторном стенде 27/ВТ.

Основным недостатком поверхностной бериллизации, которая производилась как с внешней, так и внутренней поверхности оболочки твэл, была диффузия бериллия из покрытия с соответствующим охрупчиванием тонкостенной оболочки. В связи с этим обстоятельством в последующих разработках активных зон для ЯЭУ с повышенными параметрами технология антикоррозионной защиты оболочек твэл посредством бериллизации не применялась.

Из всех исследованных антикоррозионных покрытий оболочек твэл наиболее высокие защитные свойства показало молибденирование по технологии, разработанной УФИ. Это обусловлено, в первую очередь, минимальной растворимостью молибдена как в Pb, так и в Bi. Однако молибденирование, как метод антикоррозионной защиты конструкционных материалов оболочек твэл в сплаве Pb-Bi не нашел практического применения, т.к. молибден не обладает сопротивляемостью окислению кислородом, содержащимся в Pb-Bi сплаве. Вместе с тем практика эксплуатации масштабных циркуляционных установок показала, что обеспечить в них глубокую очистку теплоносителя Pb-Bi от кислорода и постоянное поддержание жидкометаллической среды в раскисленном состоянии является сложной технической проблемой.

Систематические исследования влияния растворенного O_2 на коррозионную стойкость сталей в Pb-Bi теплоносителе были начаты в 1961 г. в коррозионной лаборатории ФЭИ (Б.А.Невзоров).

Фундаментальной основой для рассмотрения растворенного в среде O_2 , как потенциального ингибитора коррозии в расплавах тяжелых металлов (Pb, Bi, сплав Pb-Bi), были известные термодинамические данные о низком сродстве к кислороду Pb, Bi сравнительно с традиционными компонентами сталей и легирующими элементами [2]. Исключение здесь составляет только никель - основной компонент хромоникелевых сталей аустенитного класса, сродство которого к O_2 также выше, чем у Pb и Bi, однако эта величина соизмерима со сродством к кислороду свинца [2].

На основе экспериментальных результатов был сделан важный для практики вывод, что при поддержании концентрации O_2 , растворенного в жидкометаллической среде, на определенном уровне ($c_i \geq c_{min}$) на поверхности сталей самопроизвольно формируется и поддерживается защитная окисная пленка со структурой Me_3O_4 , Me_2O_3 , где Me - Fe, Cr, Si и другие компоненты стали с высоким сродством к кислороду. При этом c_{min} - минимальная концентрация растворенного O_2 , при которой сталь пассивируется в жидкометаллической среде и сохраняет высокую коррозионную стойкость.

Ввиду инертности окисной пленки относительно жидкометаллической среды, ее хорошего сцепления с матрицей и способности к (кислородному) залечиванию дефектов,

она изолирует поверхность стали от прямого контакта с агрессивной жидкометаллической средой. Соответственно, когда обеспечивается пассивация стали в жидкометаллической среде, т.е. формирование на ее поверхности за счет реакции с растворенным O_2 защитной окисной пленки, коррозионная стойкость материала резко повышается (табл.1, поз.1).

Для характеристики коррозионного поведения стали в ситуации, когда на ее поверхности формируется защитная окисная пленка, был введен новый (применительно к ЖМТ) термин - пассивное состояние материала. Для характеристики поведения стали, когда уровень концентрации растворенного в среде Pb-Bi кислорода недостаточен для формирования на ее поверхности защитной окисной пленки и коррозия стали развивается беспрепятственно (по традиционному механизму физического растворения в жидких металлах), был принят термин - активное состояние материала.

При устойчивой пассивации сталей в среде Pb-Bi-O ($c_i > c_{min}$) коррозионное воздействие сплава на материал ограничивается лишь эффектом переноса компонентов сталей через окисную пленку, что не приводит к заметному ухудшению свойств стали при ее эксплуатации при рабочих температурах. В ситуации, когда концентрация O_2 , растворенного в жидкометаллической среде, недостаточна для пассивации стали ($c_i < c_{min}$), ввиду высокой коррозионной агрессивности сплава Pb-Bi материал подвергается значительной коррозии (табл.1, поз.5-11). Коррозионная стойкость сталей здесь определяется растворимостью основных компонентов стали и их влиянием на защитные свойства окисной пленки. Кроме области устойчивой пассивации сталей в сплаве Pb-Bi, когда стали не подвергаются коррозии, и области активного состояния материала, когда коррозия приобретает интенсивный фронтальный характер, имеется промежуточная область так называемой неустойчивой пассивации. В области неустойчивой пассивации защитная окисная пленка формируется только на части поверхности стали и коррозия, соответственно, имеет очаговый (местный) характер.

Величина c_{min} является эмпирической характеристикой. Пассивация материала в среде Pb-Bi-O зависит не только от концентрации растворенного кислорода, но и от таких факторов как состав стали, температура, неизотермичность системы, гидродинамика потока сплава и длительность эксплуатации [3]. Например, нержавеющие 12%Cr-Si стали ферритного и ферритно-мартенситного классов имеют более широкую область пассивации сравнительно с нержавеющими хромоникелькремнистыми сталями аустенитного класса, ввиду присутствия в составе последних никеля, который отличается существенно большей растворимостью в сплаве Pb-Bi, чем железо и хром. Так, при испытании в контуре сталей типа ЭИ852 и ЭП823 концентрация кислорода в среде оказалась достаточной для их устойчивой пассивации (табл.3, поз.2). Для стали ЭП302, которая также испытывалась в этой кампании, указанная концентрация O_2 оказалась недостаточной для ее устойчивой пассивации в жидкометаллической среде. В связи с неполной пассивацией сталь ЭП302 подвергалась коррозии очагового характера глубиной ~120 мкм.

Как отмечено выше, ранее в ряде опытов было показано, что даже при минимальном легировании традиционных сталей кремнием (~1-2% масс) может быть достигнуто существенное повышение их коррозионной стойкости.

Было показано, что кремний существенно повышает защитные свойства окисных пленок, формируемых в среде Pb-Bi-O (табл.1, поз.1-4). Соответственно, при прочих равных условиях достигается значительное расширение области пассивации сталей, как по параметру минимальной концентрации O_2 , так и по диапазону рабочих температур. Вместе с тем было показано, что в ситуации глубокого раскисления теплоносителя ($c_i < c_{min}$), когда пассивация сталей, легированных кремнием, не достигается, кремний не

Таблица 1
Коррозионная стойкость сталей в сплаве Pb-Bi в конвекционных сварных ампулах $\Delta t=650-250^{\circ}\text{C}$ в зависимости от концентрации O_2 , растворенного в жидкометаллической среде

№ № пп	Кислородный режим испытаний	C_i	$t_{\text{аб.}}$, $^{\circ}\text{C}$	τ , час	Сталь	Состояние поверхности материала после испытания	Скорость коррозии, мм/год
1.	Постоянная подпитка сплава кислородом при растворении окисла PbO	$C_i \geq C_{\text{min}}$	650	500, 1000, 1500, 2000	ЭИ732(0X20H14C2) ЭИ888(0X12H14C4Б) ЭП302(1X15H9C3Б) ЭИ853(2X17Б2МС2) ЭИ852(1X13М2С2) ЭП549(1X12H2М3С2Б)	Пассивное состояние: окисление поверхности стали	Коррозии не обнаружено
2.	-	-	-	1000	Армко-железо	Активное состояние: интенсивная коррозия фронтального характера	2,8
3.	-	-	-	-	1X18H10T	-	5,7
4.	-	-	-	-	1X13M2 2X17Б2M	-	3,8
5.	H_2 восстановление исходного сплава	$C_i < C_{\text{min}}$	-	-	Армко-железо	-	2,7
6.	-	-	-	500, 1000, 1500	1X18H10T	-	5,8
7.	-	-	-	-	1X13M2 2X17Б2M	-	4
8.	-	-	-	-	ЭИ732	-	5,7
9.	-	-	-	-	ЭИ888	-	4
10.	-	-	-	-	ЭП302	-	3,5
11.	-	-	-	-	ЭИ853, ЭИ852, ЭП549	-	3,3

Примечание. Определение концентрации O_2 в сплаве Pb-Bi проводилось по методу H_2 восстановления проб среды с точностью $\sim 2 \cdot 3 \cdot 10^{-5} \text{ \% масс.}$

оказывает сколько-нибудь существенного влияния на процесс растворения сталей (табл.1, поз.5-11).

Экспериментальные данные по влиянию растворенного O_2 на коррозионную стойкость сталей в сплаве Pb-Bi посредством формирования на их поверхности защитных окисных пленок (табл.1) позволили в целом дать удовлетворительное объяснение существенного разброса данных по коррозионной стойкости сталей в Pb, Bi и сплаве Pb-Bi, который отмечался в ранних работах.

Так, при испытании сталей в циркуляционных неизотермических стендах и реакторных петлях, выполненных ранее, отмечалась их высокая коррозионная стойкость (табл.2, поз.1-6). Вместе с тем при испытании этих сталей в конвекционных ампулах, в условиях контактного подслоя Pb-Bi в твэл и т.д. отмечалась их интенсивная коррозия. Анализ указанных экспериментальных данных и дополнительные опыты показали следующее. Причиной интенсификации коррозии при испытании сталей в конвекционных ампулах было то, что концентрация O_2 в сплаве Pb-Bi в условиях высокой герметичности указанных устройств и неблагоприятного отношения V/S была недостаточной для пассивации сталей ($c_i < c_{min}$). Причиной высокой коррозионной стойкости сталей при испытании в стендах, реакторных петлях и т.п. системах было неконтролируемое попадание O_2 в контур из атмосферы при разгерметизациях, наладке установок, их ремонтах, недостаточной очистке исходного сплава от кислорода и т.д. Благодаря указанным натечкам O_2 в контур пассивационный кислородный режим теплоносителя ($c_i > c_{min}$) при указанных испытаниях обеспечивался автоматически (табл.2, поз.1-6). Тем не менее, в отдельных экспериментах по изучению влияния растворенного O_2 на коррозионную стойкость сталей в сплаве Pb-Bi было показано, что в ситуации высокой герметизации нового жидкометаллического контура раскисление теплоносителя происходит до величины $c_i < c_{min}$, когда коррозия сталей, вследствие их перехода в активное состояние, существенно интенсифицируется (табл.2, поз.7).

Таким образом, кислород, растворенный в тяжелых жидких металлах (Pb, Bi, сплавы Pb-Bi) следует рассматривать как пленочный ингибитор коррозии сталей. В известном смысле, он является естественным ингибитором коррозии, т.к. в виде примеси кислород присутствует как в исходной среде, так и попадает в контур при неполном вакуумировании системы, абсорбции его на поверхности контура из защитного газа, при ремонтах, связанных с разгерметизацией, течах воды в парогенераторах и т.д.

Важно отметить, что защита сталей от коррозии в тяжелых жидких металлах посредством кислородного ингибирования, в том числе с использованием предварительного оксидирования, принципиально отличается от традиционных способов антикоррозионной защиты сталей, например: бериллизации, азотирования, молибденирования, карбидных покрытий и т.д. Так экспериментально было показано, что появление тех или иных дефектов в традиционном защитном покрытии приводит к развитию коррозии в зонах обнажения матрицы - при концентрациях O_2 , вообще говоря, достаточных для пассивации стали в жидкометаллической среде: $c_i > c_{min}$ (табл.2, поз.8). Причиной этого, наряду с отсутствием первичной окисной пленки, является несовместимость (чужеродность) указанных покрытий с пассивационной средой Pb-Bi-O. Из-за структурного и фазового несоответствия окисной пленки и покрытия не может сформироваться целостное, структурно-однородное, оксидное покрытие на всей поверхности стали. Очевидно, что в ситуации, когда концентрация O_2 , растворенного в жидкометаллической среде, недостаточна для пассивации незащищенной стали ($c_i < c_{min}$), традиционные защитные покрытия замедляют коррозию сталей.

При защите сталей от коррозии посредством кислородного ингибирования в среде Pb-Bi-O, в том числе при использовании технологии предварительного оксидирова-

Таблица 2

Коррозионная стойкость стали 1Х13М2С2 в неизотермическом потоке сплава Pb-Bi

№ № пп	Установка	Режим испытаний				τ, часы	Состояние поверхности после испытаний
		t _{раб.} , °C	V м/с	C _i	t _{min} в контуре		
1.	Лабораторный стенд УМ-1	640-680	1,8-3	C _i ≥C _{min}	450-500	1056-7672	Пассивация (окисление) поверхности стали Жидкометаллической коррозии не обнаружено
2.	Лабораторный стенд УМ-2	560	1	-"	260	1000-5150	
3.	Стенд УМ-1, УМ-2 Сумма кампаний: τ ₁ =7672ч, τ ₂ =5150ч	640-680 560	1,8-3 1	-"	450-500 260	Στ=12822	
4.	Реакторная петля ПМ-6	560	2	-"	320	4100	
5.	Реакторная петля ПМ-7	600	2,2	-"	350	1870	
6.	Реакторная петля ПМ-8	620	2	-"	330	4000	
7.	Лабораторный стенд ЦУ-1	550	2,2-2,5	C _i <C _{min}	260	308	Активное состояние: интенсивная коррозия фронтального характера h=120мм (скорость коррозии 3,4 мм/год)
8.	Конвекционная петля Сталь ЭИ852 с защитным Cr-Mo покрытием	570	0,1	C _i ≥C _{min}	190	1650	Сквозная коррозия трубок Ø12х0,4мм в зонах защитного покрытия. В зонах сохранения покрытия коррозии матрицы не обнаружено
	Сталь ЭИ852 с защитным покрытием из карбида хрома	620	-"	-"	250	2800	-"
	-"	-"	-"	-"	-"	-"	-"
	Сталь ЭИ852 без защитного покрытия	570	-"	-"	190	1650	Пассивация (окисление) поверхности стали, коррозии не обнаружено

Примечание. Анализ сплава Pb-Bi на содержание O₂ проводился по методу водородного восстановления проб среды с точностью ~2÷3·10⁻⁵%масс.

ния, в ситуации повреждения окисной пленки на стали (например, из-за деформации, истирания, эрозии и т.д.) в процессе эксплуатации в пассивационном режиме происходит залечивание дефектов окисного покрытия за счет реакции с растворенным в среде кислородом.

Определение ингибирующей роли O₂, растворенного в жидкометаллической среде, и возможность существенного расширения области пассивации сталей в сплаве Pb-Bi при их легировании кремнием, дало основу для применения кремнийсодержащих сталей в Pb-Bi теплоносителе при высоких рабочих температурах. Путем обеспечения пассивационного кислородного режима теплоносителя Pb-Bi удастся повысить рабочую температуру эксплуатации в неизотермическом контуре 12%Cr-Si сталей ферритно-мартенситного класса (типа ЭИ852, ЭП823) до 620-650°C, а хромоникелькремнистых сталей аустенитного класса (типа ЭП302) до ~550-600°C.

Таблица 3

Коррозионная стойкость 12%Cr-Si сталей в неизотермическом циркуляционном Pb-Bi контуре в условиях пассивационного кислородного режима теплоносителя ($C_{\text{O}_2} \geq C_{\text{min}}$).

№ пп	Перепад температуры по контуру, °C	Режим испытаний		Длительность испытания, ч	Результаты исследования после испытаний
		$t_{\text{раб.}}$, °C	V м/с		
1.	600-280	600	1,8-2	5000;12000	Пассивация (окисление) поверхности образцов сталей; коррозии не обнаружено.
2.	620-260	620	2,1-2,7	5500	
3.	650-250	650	1;4	3500	
4.	650-350	650	2,2-3,5	5580	

В депассивированном (активном состоянии) указанные стали при испытании в условиях термического переноса масс сохраняют удовлетворительную коррозионную стойкость только до температуры 450 и 400°C соответственно.

Разработка и внедрение в практику нового метода измерения концентрации (активности) O_2 , растворенного в сплаве Pb-Bi, (Pb) - метода электрохимической ячейки - позволили с высокой точностью и надежностью контролировать кислородный режим теплоносителя во всем диапазоне концентраций O_2 , представляющем практический интерес.

Направление пассивационной защиты сталей в ТЖМТ в рамках концепции кислородного ингибирования приобрело цельный и законченный характер после разработки и внедрения на установках с Pb-Bi теплоносителем датчиков для определения концентрации (активности) растворенного кислорода. Эти твердоэлектродные приборы были созданы под научным руководством проф. Б.А. Шматко. Использование метода электрохимической ячейки позволило проводить измерение концентрации O_2 в жидкометаллической среде на установках с Pb-Bi теплоносителем дистанционно и в непрерывном автоматическом режиме.

В научном плане использование этого метода дает возможность точно определить область пассивации сталей в Pb-Bi в зависимости от ряда таких факторов как состав стали, рабочая температура, перепад температур в контуре, длительность эксплуатации и т.д. В частности, было установлено, что по параметру пассивируемости, и, соответственно, сохранению высокой коррозионной стойкости в свинце-висмуте на первом месте среди 7-12% хромистых сталей ферритно-мартенситного класса находятся 12%Cr-Si стали. Стали типа ЭИ852 и ЭП823 сохраняют высокую коррозионную стойкость в потоке Pb-Bi теплоносителя при температуре 600-650°C в течение до 12000 ч (табл.3).

Аналогичные результаты по коррозионной стойкости сталей ЭИ852 и ЭП823 были получены при их испытаниях в потоке свинца при поддержании пассивационного кислородного режима теплоносителя [4].

Принимая во внимание достигнутый уровень разработки технологии кислородного ингибирования сталей в жидкометаллических контурах, посредством поддержания пассивационного кислородного режима теплоносителя Pb-Bi и Pb в процессе эксплуатации, этот метод антикоррозионной защиты сталей может быть рекомендован для материалов I контура ЯЭУ с Pb-Bi и Pb теплоносителями перспективных реакторных установок с ТЖМТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение технологии кислородного ингибирования посредством поддержания пассивационного кислородного режима теплоносителя, а также использование легирования сталей кремнием позволяет на 150-200°C повысить рабочую температуру их эксплуатации в ЯЭУ с Pb-Bi и Pb теплоносителями.

2. Наилучшую пассивируемость и, соответственно, коррозионную стойкость при кислородном ингибировании показали 12%Cr-Si стали типа ЭИ852 и ЭП823. При поддержании пассивационного кислородного режима в Pb-Bi теплоносителе указанные стали сохраняют высокую коррозионную стойкость при температурах до 650°C в течение 12 000 ч испытаний.

Список литературы

1. Громов Б.Ф., Субботин В.И., Тошинский Г.И. Применение расплавов эвтектики свинец-висмут и свинца в качестве теплоносителя ЯЭУ// Атомная энергия.-1992.-Т.73.- №1.- С.19-24.
2. Крестовников А.Н., Владимиров А.П. и др. Справочник по расчетам равновесий металлургических реакций. - М.: Металлургиздат, 1963.
3. Ячменев Г.С., Русанов А.Е., Громов Б.Ф., Беломытцев Ю.С., Скворцов Н.С., Демишонков А.П. Проблемы коррозии конструкционных материалов в свинцово-висмутовом теплоносителе: Доклад на отраслевой конференции по тяжелым теплоносителям. - Обнинск, 1998.
4. Бабошин А.В., Зверев И.Ф., Иванькин О.А., Кононюк М.Х., Шитов В.Н., Ячменев Г.С. Коррозионная стойкость конструкционных материалов в неизотермическом потоке расплава свинца. Доклад на межотраслевой конференции "Теплофизика-91". - Обнинск, 1991.

Поступила в редакцию 27.05.99.

(Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 1 illustration. - References, 14 titles.

Results of development of the method of processing radioactive wastes of alkali metals used as the coolant in NPP are given. The method includes processing and conditioning of the products of processing for the ecologically safe long-time burial. Dispersion of an alkali metal on the solid inert carrier, dissolution and low baking into geocement stone are described. The features of the technological procedure and properties of a final product are shown.

УДК 621.039.53

The Basic Stages of Examinations of Corrosion in Liquid Metals \V.A. Ivanov, V.A. Solovjev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 4 pages, 1 illustration. - References, 7 titles.

The development stages of the corrosion of structural materials in liquid metals is classified and the prediction of essential works necessary for the development of an expert system and for the formulation of theoretical principles of the liquid metal corrosion is made.

УДК 621.039.553

On Physicochemical Similarity of Liquid Metal Loops \A.L. Shimkevich, B.A. Shmatko; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 1 table, 4 illustrations. - References, 13 titles.

Derivation of the criterion of physicochemical similarity of circulating systems based on the solution of a nonuniform transport equation for technological impurities in the liquid metal coolants is shortly considered. The behaviour of a thermodynamic activity of oxygen in nonisothermal loops with the lead-bismuth coolant investigated by monitoring method is discussed. The accent is made on Permissible Activity Domain (PAD) related to normal operation of loops with lead-bismuth coolant.

УДК 681.128:538.4

Electromagnetic Flowmeters for Lead-Bismuth Eutectic Alloy \N.I. Loginov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 4 illustrations. - References, 7 titles.

Some methods of elimination of influence of contact electric resistance between a liquid lead-bismuth alloy and a stainless steel pipe on accuracy of measurement by the electromagnetic flowmeters are considered.

The constructions of the flowmeter permitting to realize these methods and providing the accuracy of flow measurement with an error 2,5...5% are offered. The method of measurement of the contact resistance is proposed, and experimental data on the contact resistance as a function of temperature and concentration of oxygen in alloy are published for the first time.

УДК 530.1:536.4

Oxygen Inhibition of Structural Materials in Melts of Lead-Bismuth Eutectic and Lead \B.F. Gromov, G.S. Yachmenev, A.Eu. Rusanov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 8 pages, 3 tables. - References, 4 titles.

Experimental data related with influence of the concentration of dissolved oxygen on corrosion resistance of steels in a lead-bismuth alloy of an eutectic composition and in the lead melt are represented. It is shown, that at fixed concentration of oxygen dissolved in coolant steel is passivated: the protective oxide film Me_3O_4 , Me_2O_3 (where Me - Fe, Cr, Si etc. - the steel components with high affinity to oxygen) forms on its surface. The oxide film essentially hampers the action of aggressive liquid-metal medium on a material. The most effective influence on protective properties of an oxide film renders a steel doping of steel with silicon ($\sim 1\div 3\%$ by mass).

УДК 669.884:539.12

Lithium in the Problem of Solar Neutrino \M.N. Arnoldov, A.V. Kopylov, I.V. Orekhov, V.V. Petuhov, Eu.A. Janovich; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 6 pages, 2 tables, 1 illustration. - References, 7 titles.

The problems of detection of the solar neutrino of intermediate energies by means of the metallic lithium detector is discussed in the paper. The possibility of extraction the product of neutrino-lithium interaction, i.e. beryllium-7 from lithium, by filtering of lithium at temperature close to its melting temperature are described.

УДК 621.039.534

Extraction of Microquantities of Beryllium from Aqueous Solutions of Lithium \G.Ja. Novikova, V.V. Petuhov; Editorial