

На правах рукописи

ГУЛОВ Саломидин Садридинович

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕДИСТЫХ
СИЛУМИНОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТАМИ
ПОДГРУППЫ ГЕРМАНИЯ**

02.00.04- Физическая химия

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Душанбе – 2010

Работа выполнена в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан и на кафедре «Материаловедение, металлургические машины и оборудование» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

Научные руководители: доктор химических наук, академик АН Республики Таджикистан, профессор
Ганиев Изатулло Наврузович
кандидат технических наук
Бердиев Асадкул Эгамович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, член-корр. АН РТ, профессор **Одинаев Хайдар Одинаевич**
доктор химических наук, профессор
Бадалов Абдулхайр Бадалович

Ведущая организация: Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни, кафедра Технологии машиноведения

Защита состоится « 26 » мая 2010 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета ДМ 047.003.01 при Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан по адресу: г. Душанбе, ул. Айни, 299/2.
E-mail: gulchera@list.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан

Автореферат разослан « 23 » апреля 2010 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук**



Касимова Г.Ф.

Формат 60x90/16. Бумага фин. копир.
Гарнитур Times New Roman.
Усл. п.л. Заказ №24 тираж 100 экз.

734042, Таджикистан, г. Душанбе,
пр. Раджабовых, 10, Изд. ТТУ

**Основное содержание диссертации изложено
в следующих публикациях:**

1. Ганиев И.Н., Куценок Н.Л., Гулов С.С. Особенности модифицирования алюминево-германиевых сплавов стронцием. //Известия АН Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических и геологических наук.-2006. -№3-4(125). -С.53-63.
2. Ганиев И.Н., Гулов С.С., Ганиева Н.И., Давлатназарова Н.В. Влияние стронция и способов его введения в расплав на свойства промышленных силуминов. //Известия АН Республики Таджикистан. Отделение физико- математических, химических и геологических наук. -2007.- №1(126). -С.68-77.
3. Ганиев И.Н., Гулов С.С., Ганиева Н.И. Разработка литейного алюминиевого сплава, модифицированного стронцием, для литья автомобильных колес. //Известия АН Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических и геологических наук. -2007.- №3(128). -С.46-54.
4. Ганиев И.Н., Сангов М.М., Бердиев А.Э., Гулов С.С. Политермические разрезы системы Al-Si-YAl₂. //Доклады АН Республики Таджикистан. - 2008. -т.51. -№2. -С.126-130.
5. Ганиев И.Н., Сангов М.М., Бердиев А.Э., Гулов С.С. Ликвидус системы Al-Si-YAl₂. //Доклады АН Республики Таджикистан. - 2008. -т.51. -№4. -С.275-279.
6. Малый патент № ТЈ 203 от 17.11.2008г. на изобретения «Литейный сплав на основе алюминия». /Ганиев И.Н., Бердиев А.Э., Гулов С.С., Сангов М.М.
7. Ганиев И.Н., Бердиев А.Э., Гулов С.С. Высокотемпературное окисление твердого сплава АК7М2, легированного германием. /Материалы научно-практической конференции «Актуальные проблемы технологического образования высших, средних специальных и средних учебных заведениях». ТГПУ.-2009. С.61-63.
8. Гулов С.С., Ганиев И.Н., Бердиев А.Э. Влияние свинца на кинетику окисления твердого сплава АК7М2. //Вестник ТТУ. им. М.С.Осими. - 2008. №3. С.30-35.
9. Гулов С.С., Ганиев И.Н., Бердиев А.Э. Кинетика окисления твердого сплава АК7М2+0.05%Sr, легированного германием. /Материалы научно-практической конференции «Прогрессивные методы производства» посвященной 35-летию кафедры «ТММСиИ». ТТУ. им. М.С. Осими. -2009. С. 92-94.
10. Гулов С.С., Ганиев И.Н., Умарова Т.М., Бердиев А.Э. Коррозионно-электрохимическое поведение сплава АК7М2+0.05%Sr, легированного германием в среде 3%-ного раствора NaCl. //Доклады АН Республики Таджикистан. - 2009. -т.52. -№6. -С460-463.

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы: Сплавы системы алюминий- кремний (силумины) служат основой большинства литейных алюминиевых композиций, широко применяемых как конструкционные материалы для фасонного литья в авиастроении, строительстве, транспорте и других отраслях промышленности. В связи со структурными особенностями литых сплавов – грубыми хрупкими включениями кремния и интерметаллических фаз, прочностные характеристики силуминов невысокие, особенно низка пластичность. Для улучшения структуры и механических свойств литейных промышленных сплавов алюминия регулируют режимы плавки и литья, условия кристаллизации отливок (литье в песчаные и металлические формы, под давлением и т.д.). Но наиболее действенным фактором, определяющим благоприятное структурообразование силуминов, остается известный метод модифицирование, т.е. измельчение структуры за счет введения в расплав перед его заливкой малых добавок модифицирующих элементов.

Настоящее исследование посвящено изучению влияния элементов подгруппы германия и стронция, как модифицирующих добавок, на физико-химические свойства сплавов АК7М2, АК9М2, являющихся вторичными алюминиевыми сплавами.

Цель работы заключается в усовершенствовании и разработке новых составов алюминево-кремниевых сплавов, на основе вторичных алюминиевых сплавов, легированных элементами подгруппы германия и стронция.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- исследованы кинетика и механизм процесса высокотемпературного окисления сплавов;
- изучено электрохимическое поведение сплавов в среде электролита 3% NaCl, физико-механические и теплофизические свойства сплавов, легированных элементами подгруппы германия и стронцием и установлены их оптимальные концентрации.

Научная новизна работы. На основе экспериментальных исследований установлены закономерности и механизм процесса окисления сплавов АК7М2, АК9М2 легированных элементами подгруппы германия и стронцием в твердом состоянии. Определены фазовые составляющие продуктов окисления и их роль в процессе окисления. Установлены электрохимические характеристики сплавов, легированных элементами подгруппы германия в среде электролита 3%-ного хлорида натрия. Выявлены закономерности влияния легирующих добавок на механические свойства и структуру сплавов.

Практическая значимость работы заключается в разработке и оптимизации состава сплавов АК7М2, АК9М2, легированных элементами подгруппы германия и стронцием для отливки изделий с повышенными физико-механическими и литейными свойствами, различными способами литья.

Основные положения выносимые на защиту:

- механизм и закономерность окисления твердых медистых силуминов, легированных элементами подгруппы германия и стронцием в атмосфере воздуха.
- коррозионно-электрохимические характеристики медистых силуминов, легированных элементами подгруппы германия и стронция в среде 3%-ного раствора NaCl.
- физико-механические и теплофизические свойства медистых силуминов, легированных элементами подгруппы германия и стронция.

Апробация работы. Основные положения диссертации обсуждались на научно-практической конференции «Актуальные проблемы технологического образования в высших, средних специальных и средних учебных заведениях» (Душанбе, 2009г.); научно-практической конференции «Прогрессивные методы производства», посвященной 35-летию кафедры «ТММСиИ» Таджикского технического университета им. академика М.С.Осими (Душанбе, 2009г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 10 работ, в том числе 6 статей в журналах включенных в список ВАК РФ: «Доклады АН Республики Таджикистан», «Известия АН Республики Таджикистан».

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, посвященных обзору литературы, технике эксперимента и экспериментальным исследованиям, выводов списка литературы и приложения. Работа изложена на 133 страницах компьютерного набора, включая 21 таблицу, 48 рисунков и 94 библиографических ссылок.

Основное содержание работы

Во введении изложены предпосылки и основные проблемы исследования, обоснована актуальность работы, раскрыта структура диссертации.

Во первой главе описаны особенности структурообразования сплавов систем Al-Si, Al-Ge и Al-Sn. Приведены особенности высокотемпературного окисления алюминия и элементов подгруппы кремния и сплавов систем алюминий-кремний (германий, олово).

Обобщение и анализ имеющихся в литературе данных по структуре и свойствам сплавов систем Al-Si, Al-Ge и Al-Sn свидетельствуют:

1. В литературе имеются данные о кинетике окисления алюминия, кремния, стронция, сплавов систем алюминий-кремний, алюминий - германий и алюминий-олово.

2. Анализ особенностей окисления силуминов доэвтектического и эвтектического составов при одинаковой (973К) температуре, показывает, что с увеличением содержания кремния в алюминии, вплоть до эвтектического состава, наблюдается рост истинной скорости окисления от $2.78 \cdot 10^{-4}$, для чистого алюминия, до $14.166 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, для сплава эвтектического состава. Увеличение скорости окисления сопровождается уменьшением кажущейся энергии активации окисления от 74.48 для нелегированного металла, до 51.08 кДж/моль для силумина эвтектического состава.

что добавки германия значительно увеличивают окисляемость сплавов АК7М2 и АК7М2+0.05% Sr. В сплавах АК7М2+Sn наибольшее значение скорости окисления характерно для состава, содержащего 1.0 мас.% олово. Сплавы АК7М2+Pb при малых добавках свинца имеют наименьшее значение истинной скорости окисления.

2. Методами рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии установлен фазовый состав продуктов окисления сплавов АК7М2+Ge и АК7М2+0.05%Sr+Ge и их роль в процессе окисления. В продуктах окисления сплавов АК7М2+Ge и АК7М2+0.05%Sr+Ge преобладающей является фаза γ -Al₂O₃. Фазовый состав продуктов окисления существенно влияет на механизм окисления сплавов. Сплавы, основным продуктом окисления которых является γ -Al₂O₃, характеризуются низкой скоростью окисления.

3. Потенциодинамическим методом установлены следующие закономерности изменения электрохимических характеристик сплава АК7М2, легированного элементами подгруппы германия и стронцием в среде электролита 3% NaCl:

- потенциал свободной коррозии с ростом концентрации легирующего элемента смещается в положительную область; увеличение концентрации хлор-ионов способствует увеличению потенциала свободной коррозии и росту скорости коррозии сплавов;
- потенциалы питтингообразования и репассивации с ростом концентрации легирующего элемента смещаются в положительную область, а с увеличением концентрации хлор-ионов в отрицательную область;
- скорость коррозии исходного сплава АК7М2 при росте концентрации легирующей добавки увеличивается, затем уменьшается при содержании 1.0% свинца.

4. Исследованием влияния стронция на структуру и свойства сплавов системы Al-Ge, а также припоев на основе указанной системы с добавками кремния, разработан припой, обладающий повышенной пластичностью и коррозионной стойкостью.

5. Изучением влияния германия и стронция на физико-механические, литейно-технологические свойства вторичного алюминиевого сплава АК9М2, показана возможность повышения его физико-механических и технологических свойств.

6. Методом монотонного разогрева определены теплопроводность сплава АК7М2, легированного элементами подгруппы германия и стронцием в зависимости от температуры и концентрации и показано, что теплопроводность исходного сплава, больше, чем теплопроводность легированного сплава в исследованном интервале температур. С ростом температуры и концентрации легирующих компонентов теплопроводность легированного сплава АК7М2 уменьшается.

тактировать только с дном стакана.

Результаты измерения теплопроводности сплава АК7М2, легированного германием и стронцием в зависимости от температуры и концентрации представлены в табл. 9.

Таблица 9

Влияние добавок германия и олова на теплопроводность (λ , Вт/(м*К)) сплава АК7М2 в зависимости от температуры

Температура, К	Содержание германия и олова в сплаве АК7М2, мас. %								
	0.0	0.05Ge	0.3Ge	0.6Ge	1.0Ge	0.05Sn	0.3Sn	0.6Sn	1.0Sn
298	233.6	235.4	234.8	234.0	233.5	235.4	233.8	233.0	232.6
323	235.6	236.2	235.5	235.0	234.4	236.0	235.3	234.5	234.0
348	236.7	237.4	236.4	235.9	235.0	236.8	236.0	235.4	234.8
373	237.4	237.9	237.0	236.7	235.5	237.5	236.8	236.2	235.5
398	238.0	238.0	237.5	237.0	236.1	237.8	237.2	236.8	236.0
423	238.2	238.2	237.6	237.2	236.3	237.8	237.2	236.6	236.0
448	238.0	238.1	237.4	237.0	236.1	237.6	237.0	236.4	235.8
473	237.9	238.0	237.2	236.8	235.8	237.0	236.4	235.8	235.0
498	237.6	237.8	236.8	236.2	235.0	236.4	236.0	235.2	234.0
523	236.2	236.0	235.1	234.2	233.4	234.8	234.0	232.8	232.2
548	234.0	234.8	233.6	233.0	232.2	233.0	232.0	231.0	230.4
573	232.9	233.2	232.3	231.5	230.4	231.0	230.2	229.0	227.8
598	231.4	232.0	231.0	230.3	229.3	229.2	228.4	227.8	226.6
623	229.8	230.8	229.5	228.8	227.8	227.0	226.2	225.2	224.8
648	228.0	229.0	228.1	227.4	226.3	225.6	224.8	224.0	223.4
673	226.8	227.8	226.4	225.8	224.3	224.0	223.4	222.8	221.8

Поскольку теплопроводность германия больше чем теплопроводность олова, соответственно теплопроводность сплавов, содержащих германий больше, чем теплопроводность сплавов с оловом во всем интервале температур.

ВЫВОДЫ

1. Методом термогравиметрии исследована кинетика окисления сплава АК7М2, легированного Ge, Sn, Pb и Sr кислородом воздуха. Показано, что окисление сплавов подчиняется параболическому закону. Истинная скорость окисления имеет порядок 10^{-4} кг·м⁻²·сек⁻¹. Кажущаяся энергия активации в зависимости от состава сплава изменяется для сплава АК7М2 с германием от 13.72 до 26.79 кДж/моль, с оловом от 13.72 до 18.10 кДж/моль, со свинцом от 13.72 до 25.50 кДж/моль и для сплава АК7М2+0.05% Sr с германием от 14.73 до 12.67 кДж/моль. Определено,

3. Взаимодействие жидкого германия с газовой фазой, при температурах 1223 и 1248 К, значительно отличается от окисления жидкого кремния длительностью начального этапа окисления, описываемого зависимостью $\Delta g/s$ от t . Линейная зависимость сохраняется в течение 45-50 минут, далее по мере образования оксидной плёнки, характер окислительного процесса переходит в параболический и формирование защитной поверхности заканчивается к 80 минутам. Максимальная величина $\Delta g/s$ при окислении германия – 150 мг/см², минимальная – 140 мг/см². Значения истинной скорости окисления изменяются от $4.4 \cdot 10^{-4}$ до $4.7 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·с⁻¹. Кажущаяся энергия активации составляет 39,8 кДж/моль.

4. Окисление жидкого олова исследовано при температурах 873 К и 923К. Кривые окисления свидетельствуют, что процесс подчиняется параболическому закону. Формирование защитной оксидной плёнки завершается в зависимости от температуры к 50-55 минутам взаимодействия. Значения истинной скорости окисления изменяются от $9.00 \cdot 10^{-4}$ до $20 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·с⁻¹. Кажущаяся энергия активации окисления жидкого олова составляет 34.8 кДж/моль.

Таким образом, окисление доэвтектического и эвтектического сплавов системы алюминий-олово, при изотермической температуре 972 К с увеличением содержания олова в алюминии приводит к росту истинной скорости окисления от $4.28 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·с⁻¹ (для сплава содержащего 2 вес. % олова) до $26.0 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·с⁻¹ (для чистого олова). Увеличение скорости окисления сопровождается уменьшением кажущейся энергии активации от 74.48 кДж/моль (для нелегированного алюминия) до 35.50 кДж/моль (для эвтектического сплава). Это свидетельствует о значительном ухудшении структуры защитной плёнки алюминия при легировании его оловом, что в значительной степени обусловлено образующимися оксидами при окислении сплавов.

5. Нет данных о влиянии элементов подгруппы германия на свойства силуминов, в частности сплава АК7М2. В связи с широким использованием данного сплава в литейном производстве представляют интерес исследования связанные с модифицированием данного сплава стронцием и элементами подгруппы германия.

Исследование процесса высокотемпературного окисления сплава АК7М2, легированного элементами подгруппы германия и стронцием

Методика исследования кинетики окисления твердых металлов и сплавов. Кинетику окисления твердых сплавов изучали термогравиметрическим методом. Сплавы для исследования были получены в печи Таммана прямым сплавлением компонентов. Взвешивание сыхты производили на аналитических весах АРВ-200 с точностью $0.1 \cdot 10^{-6}$ кг.

В качестве объекта исследования использовали алюминий марки А995, кремниевый – порошок, стронций – марки СтМ1, свинец - металл-ческий, германий и олово - монокристаллические.

Изменения веса фиксировали по растяжению пружины с помощью катетометра КМ-8. В опытах использовались тигли из окиси алюминия диаметром 18-20 мм, высотой 25-26 мм. Тигли перед опытом подвергались прокаливанию при температуре 1273-1473 К в окислительной среде в течение 1,5 часа до постоянного веса..

Рентгенофазовый анализ для получения информации о составе фаз в продуктах окисления в виде порошка проводили на дифрактометре ДРОН-1,5 с использованием медного K_{α} - излучения.

ИК- спектры снимались на двухлучевом инфракрасном спектрофотометре UR- 20 в области $400-4000\text{см}^{-1}$.

Окисление твердого сплава АК7М2, легированного германием. В связи с проблемами модифицирования силуминов, малыми добавками германия, содержание германия в сплава АК7М2 составляло 0.05; 0.3; 0.6; 1.0 мас.%. Кинетические и энергетические параметры процесса окисления данных сплавов приведены в табл.1. Видно, что с увеличением содержания германия, как при постоянной температуре, так и при увеличении температуры наблюдается рост скорости окисления исходного сплава. Последнее сопровождается уменьшением кажущейся энергии активации.

Динамика увеличения удельной массы образцов в зависимости от времени и температуры для сплава АК7М2, легированного германием показывает, что с ростом температуры увеличивается скорость окисления. Сплавы, содержащие более высокие концентрации германия, т.е. 0.6 и 1.0 мас.%, характеризуются относительно растянутым процессом формирования оксидной пленки по сравнению с малолегированными сплавами. Такой механизм окисления объясняется образованием оксидов сложного состава на поверхности сплава, которые характеризуются более высокими защитными свойствами. Сплавам, содержащим 0.05 и 0.3 мас.% германия, характерны небольшие значения истинной скорости окисления, и соответственно, более высокие величины кажущейся энергии активации окисления (табл.1).

Продукты окисления сплавов исследовались с использованием физико-химических методов в частности, ИК-спектроскопией и рентгенофазовым анализом. Из данных ИК- спектров продуктов окисления сплава АК7М2 с германием, представленных в табл. 2. видно, что в продуктах окисления сплава доминирующей фазой является $\gamma -\text{Al}_2\text{O}_3$, что подтверждается наличием частот поглощения при 427, 465, 500, 615, 650, 775, 1095 см^{-1} .

с учетом дальнейшего переплава;

- рекомендуется использование лигатур с содержанием стронция не более 5-10% по массе, что имеет ряд преимуществ:
 - а) обеспечивает более рациональное использование стронция;
 - б) исключается необходимость перегрева расплава;
 - в) исключает вероятность образования в расплаве зон с повышенной концентрацией стронция активно взаимодействующих с атмосферой;
 - обработка сплавов стронцием в большинстве случаев влечет за собой повышение содержания водорода в металле, а применение гексахлорэтана в качестве дегазирующего средства неэффективно;
 - модифицирование силуминов стронцием вызывает возрастание брака по негерметичности за счет совместного действия газовой и микроусадочной пористости;
 - применение стронция в качестве модификатора доэфективных силуминов может быть рекомендовано совместно с применением ряда технологических и организационных мероприятий:
 - а) применение специальных видов литья (литье под низким давлением, аккурат-процесс, литье с противодавлением);
 - б) использование литниковых систем с усиленным питанием отливки.
- Модифицирование стронцием может также применяться для отливок, к которым не предъявляются требования высокой герметичности.

Теплофизические свойства сплава АК7М2, легированного элементами подгруппы германия и стронцием

Для измерения теплопроводности сплава АК7М2, легированного элементами подгруппы германия и стронцием, нами использован метод монотонного разогрева разработанного Платуновым Е.С. на установке производства Актюбинского завода.

Методы монотонного теплового режима основываются на закономерностях приближенного анализа нелинейного уравнения теплопроводности. При этом под монотонным тепловым режимом понимается плавный разогрев (охлаждение) тела в широком диапазоне измерения температуры со слабо переменным полем скоростей внутри образца. Эти методы являются обобщением квазистационарных методов на случай переменных теплофизических параметров [$\lambda=\lambda(t)$; $a=a(t)$; $c_p=c_p(t)$] и скорости нагревания (охлаждения) $b=f(x,\tau)$. Они позволяют из одного опыта получить температурную зависимость исследуемого образца и несут иногда название динамических методов.

Исследуемый объект размещается внутри металлического стакана (диаметром 5-15мм и высотой 5-30мм) монотонно разогревается в месте с ним тепловым потоком, непрерывно поступающим к стакану через тепломер. При этом тепломер может окружать стакан со всех сторон или кон-

Таблица 1

Кинетические и энергетические параметры процесса окисления твердого сплава АК7М2, легированного германием, оловом и свинцом

Содержание Ge Sn и Pb в сплаве АК7М2, мас. %	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления, $K \cdot 10^{-4}, \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$	Кажущаяся энергия активации окисления, кДж/моль
0.0	773	5.00	13.72
	798	5.36	
	823	5.80	
0.05 Ge	773	2.21	75.15
	798	2.49	
	823	2.77	
0.3 Ge	773	2.50	63.22
	798	2.63	
	823	2.77	
0.6 Ge	773	2.61	32.53
	798	2.70	
	823	2.80	
1.0 Ge	773	2.77	26.79
	798	2.84	
	823	2.91	
0.05 Sn	773	3.75	13.80
	798	4.04	
	823	4.33	
0.3 Sn	773	3.66	13.94
	798	3.91	
	823	4.16	
0.6 Sn	773	3.33	15.24
	798	3.71	
	823	4.08	
1.0 Sn	773	2.87	18.10
	798	3.08	
	823	3.29	
0.05 Pb	773	3.91	15.49
	798	4.16	
	823	4.24	
0.3 Pb	773	3.52	19.26
	798	3.57	
	823	3.63	
0.6 Pb	773	3.21	21.35
	798	3.43	
	823	3.66	
1.0 Pb	773	3.00	25.50
	798	3.18	
	823	3.35	

чество стронция максимально (в исследуемом интервале времени) и составляет 80% от введенного, тогда как в печи ИАТ-6 зависимость содержания стронция от времени выдержки носит экстремальный характер.

Максимальное содержание стронция в индукционной печи через 2 часа после модифицирования составляет лишь 40% от введенного количества, что объясняется более сильным его угаром в результате интенсивного перемешивания расплава (табл. 8).

Эвтектика в микроструктуре всех проб, отобранных в процессе плавки в печи ИАТ-6, была полностью модифицирована.

Отсутствие однозначной информации о влиянии стронция на газосодержание алюминиевых сплавов побудило нас провести широкое изучение всех аспектов этого вопроса.

Результаты проведенной работы свидетельствуют о том, что модифицирование стронцием в заводских условиях вызывает повышение газосодержащего расплава, в ряде случаев превышающее величину допустимого по содержанию в чушковом сплаве ($0.3 \text{ см}^3/100\text{г}$).

Применение гексахлорэтана в качестве дегазирующего средства вызывает снижение содержания стронция, содержание водорода при этом несколько возрастает или не изменяется.

Анализ имеющихся экспериментальных данных позволяет утверждать, что добавки стронция существенно изменяют свойства расплава в предкристаллизационный период и характер кристаллизации. Концентрированная усадка переходит в рассеянную пористость, которая совместно с газовой пористостью вызывает негерметичность отливок. Микроусадочная пористость определялась нами по конусной пробе (способ Татюра) и составляла для немодифицированного сплава – 0.21-0.3%; для сплава модифицированного универсальным флюсом -0.4-0.5%; для сплава модифицированного Sr – 0.7-0.8%.

Следует отметить, что после обработки стронцием всех исследуемых сплавов достигался стабильный и длительный модифицирующий эффект.

Проведенные исследования позволили сформулировать следующие выводы и рекомендации по технологии модифицирования стронцием:

- при использовании лигатур с повышенным (30-50% Sr по массе) содержанием стронция, вводимых как в индукционные плавильные, так и в раздаточные печи, достигается стойкий модифицирующий эффект, сохраняющийся в течение 5 и более часов. Механические свойства образцов превышают средние значения для серийной технологии;
- модифицирование стронциевыми лигатурами следует производить за 30-40 мин до начала разливки из плавильной или раздаточной печи (чтобы достичь необходимой для получения модифицирующего эффекта концентрации стронция);
- при использовании лигатур с содержанием стронция 30-50% массовая доля вводимого стронция с учетом угара должна быть не менее 0,05-0,08%; для приготовления готовых чушковых сплавов целесообразно вводить стронций, массовая доля которого 0,08-0,10%

Окисление сплава АК7М2, легированных оловом. Для исследования влияния олова на кинетику окисления твердого сплава АК7М2, была синтезирована серия сплавов с содержанием олова от 0.05 до 1.0 мас.%. Исследование проводили в атмосфере воздуха при температурах 773 К и 823 К. Кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплава АК7М2, легированного оловом представлены в табл.1. Как видно, добавки олова незначительно увеличивают кажущуюся энергию активации окисления сплавов. Константа скорости окисления при одинаковых температурах у сплава АК7М2 с оловом несколько меньше, чем у исходного сплава АК7М2.

Таблица 2

Фазовый состав продуктов окисления сплава АК7М2, легированного германием

Содержание германия в сплаве АК7М2, мас.%	Частоты ИК- спектров, см ⁻¹	Фазовый состав продуктов окисления сплавов по данным РФА
0.0	427, 465, 500, 650, 775, 1095 470, 590, 730, 960, 1035, 1060	γ - Al ₂ O ₃ SiO ₂
0.05	465, 615, 750, 1100, 700, 470, 590, 730, 960, 1035, 1060 522, 530, 555, 600, 640, 732	γ - Al ₂ O ₃ SiO ₂ GeO ₂
0.3	460, 610, 650, 1100, 700, 470, 590, 730, 960, 1035, 1060 522, 530, 555, 600, 640, 732	γ - Al ₂ O ₃ SiO ₂ GeO ₂
0.6	460, 610, 1100, 470, 590, 730, 960, 1035, 1060 522, 530, 555, 600, 640, 732	γ - Al ₂ O ₃ SiO ₂ GeO ₂
1.0	460, 600, 1100, 470, 590, 730, 960, 1035, 1060 522, 530, 555, 600, 640, 732	γ - Al ₂ O ₃ SiO ₂ GeO ₂

Кинетика окисления твердого сплава АК7М2, легированного свинцом. Объектом исследования был выбран сплав АК7М2, содержащий свинец от 0.05% до 1.0% по массе. Кинетические и энергетические параметры процесса окисления твердого сплава АК7М2, легированного свинцом приведены в табл.1

При температурах 773К и 823К значение истинной скорости окисления сплава, содержащего 0.05 мас.% свинца, изменяется от $3.91 \cdot 10^{-4}$ до $4.24 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·с⁻¹. Кажущаяся энергия активации при этом составляет 15.49 кДж/моль.

Кинетические характеристики процесса окисления сплава АК7М2, содержащего 0.3 мас.% свинца приведены в табл. 1. Данный сплав подвергался окислению при температурах 773К и 823К. Кинетические кривые

ности к питтингообразованию.

Как предел прочности, так и относительное удлинение образцов сплава АК9М2, легированного германием, достигает максимального значения при его содержании около 0.1%, и в присутствии стронция сохраняют достаточно высокие значения, до 0.5%, германия по массе. Результаты металлографических исследований согласуются с данными механических испытаний.

Возрастание предела прочности на 8-10%, при содержание германия 0,1% по массе, можно объяснить его упрочняющим действием на алюминиевый твердый раствор. Модифицирование стронцием уменьшает растворимость германия в алюминии, с одной стороны, и измельчает эвтектику Al-Si, с другой. Суммарное влияние этих факторов ведет к повышению мелкодисперсности эвтектики в сплаве, что в свою очередь вызывает рост пластичности на 20-25%.

Дальнейшее увеличение содержания германия от 0.3 до 1.0% по массе влечет за собой резкое снижение жидкотекучести и увлечение объема концентрированной усадочной раковины, по всей вероятности, за счет увеличения интервала кристаллизации. Введение стронция благоприятно сказывается на жидкотекучесть сплава лишь, при содержание германия около 0.1% по массе. При увеличении содержания германия введение стронция вызывает снижение жидкотекучести, поскольку, в свою очередь, увеличивается интервал кристаллизации и склонность к переохлаждению.

Таблица 8

Зависимость содержания стронция от времени выдержки расплава в печи

Время выстаивания расплава, час	Содержание Sr (%) в печи	
	Плавильной ИАТ-6 (емкостью 6000 кг)	Лабораторной (емкостью тигля 8 кг)
0.2	0.017 (расчетное 0.07)	0.012 (расчетное 0.08)
1	0.025	0.029
2	0.029	0.035
3	0.016	0.066
4	0.014	—
5	0.014	—

При введении стронция в количестве 0.08% (расчетн.) с увеличением времени выдержки расплава наблюдается некоторое снижение предела прочности к концу выдержки и значительное увеличение пластичности в течение первых 30 мин., где присутствует некоторый инкубационный период, в течение которого модифицирующее действие стронция усиливается.

В лабораторной печи через три часа после модифицирования коли-

нические и технологические свойства силуминов проводилось на сплаве АК7М2 следующего химического состава: Cu–1.05; Si–7.0; Fe–0.5; Mg–0.3; Mn–0.3% по массе. Плавки проводились в электропечи сопротивления с графитошамотным тиглем, масса плавки 3,5 кг. Германий вводился в виде лигатуры Al–50% Ge по массе. Стронций вводился в виде лигатуры Al–5%Sr, специально приготовленной нами в лабораторных условиях. Температура введения лигатур 730⁰С. Во избежание значительного угара стронция дегазация расплава проводилась до введения Al–Sr лигатуры гексахлорэтаном в количестве 0.05% от веса плавки. Образцы для испытаний на растяжение отливались в кокиль, образцы для коррозионных испытаний Ø 8мм отливались в специальный кокиль. Объемная усадка определялась по шаровой пробе, жидкотекучесть оценивалась по прутково-кокильной пробе. Все образцы заливались при температуре 720±5⁰С. При исследованиях количество образцов на точку было не менее пяти.

Образцы для коррозионных испытаний подвергались стабилизирующему отжигу при температуре 120⁰С в течение 10 часов, охлаждение с печью. Микроструктура сплавов изучалась при помощи оптического микроскопа «НЕОРНОТ-30» на шлифах, приготовленных из головок отдельно отлитых образцов.

В процессе исследований использовались металлографические и физико-химические методы исследования. Травление микрошлифов сплавов и лигатур проводилось в 0.5%-ном растворе HF. Стронций в сплавах определялся спектральным и атомно-адсорбционным методами. Газосодержание сплавов определялось вакуум-плавлением образцов.

Влияние стронция на физико-механические и технологические свойства припоев на основе сплавов системы алюминий-германий

Введение германия приводит к почти линейному повышению твердости исходного сплава. Добавка стронция изменяет наклон кривой, причем, если при содержании германия до 10-15% стронций несколько увеличивает твердость сплава, то при больших содержаниях происходит заметное снижение твердости.

Таким образом, установлено, что стронций оказывает модифицирующее действие на алюминий-германиевую эвтектику. Эффект модифицирования в случае алюминий-германиевой эвтектики менее значителен, чем при модифицировании эвтектики алюминий-кремний.

Показано, что в тройном сплаве Al-Si-Ge, модифицирующее действие стронция более значительно, что может быть использовано при создании стронцийсодержащего припоя на базе припоев «Германий-1» и «Германий-2».

Коррозионно-электрохимические исследования сплавов систем Al-Ge; Al-Si-Ge и Al-Si-Ge-Sr показали, что введение микродобавок стронция в припой «Германий-1» и «Германий-2» приводит к снижению скорости коррозии с 0.0187г/м²·час до 0.00500 г/м²·час, за счет снижения склон-

оисления подчиняются параболическому закону. Истинная скорость окисления составляет величину 3.52·10⁻⁴ и 3.63·10⁻⁴ кг·м⁻²·с⁻¹. Кажущаяся энергия активации окисления составляет 19.26 кДж/моль.

В целом свинец в исследованном диапазоне концентрации несколько уменьшает скорость химической коррозии сплава АК7М2, о чем свидетельствует величина кажущейся энергии активации окисления твердых сплавов (табл.1).

Кинетика окисления твердого сплава АК7М2+0.05%Sr, легированного германием. Для исследования влияния германия на кинетику окисления твердого сплава АК7М2, модифицированного стронцием (0.05%), была синтезирована серия сплавов с содержанием германия от 0.05% до 1.0% по массе. Исследование проводили в атмосфере воздуха при температурах 773К и 823К.

Кинетические кривые окисления твердого сплава АК7М2+ 0.05% Sr характеризуются более растянутым процессом формирования оксидной плёнки на начальном этапе окисления. Скорость окисления данного сплава в зависимости от времени и температуры увеличивается незначительно. Однако рост удельной массы образца к 15 минутам приобретает постоянное значение равное 11мг/см² при 823К. Истинная скорость окисления, вычисленная по касательным, проведённым от начала координат к

кривым и рассчитанная по формуле $K = \frac{g}{s \cdot \Delta t}$, составляет 4.30·10⁻⁴ и 4.80·10⁻⁴ кг·м⁻²·с⁻¹, соответственно при температурах 773К и 823К. Кажущаяся энергия активации окисления, вычисленная по тангенсу угла наклона прямой зависимости lgK-1/T, составляет 14.73 кДж/моль.

Легирование сплава АК7М2+0.05%Sr германием способствует некоторому уменьшению истинной скорости окисления и, соответственно, увеличению кажущейся энергии активации окисления по сравнению со сплавом, содержащим олово и свинец. Так, если в интервале температур 773К и 823К значения истинной скорости окисления сплава, содержащего германий изменяются от 3.33·10⁻⁴ до 6.00·10⁻⁴ кг·м⁻²·сек⁻¹, кажущаяся энергия активации при этом изменяется от 79.81 до 12.67кДж/моль.

Из данных ИК-спектров продуктов окисления сплава АК7М2+ +0.05%Sr с германием, видно, что доминирующими фазами являются γ – Al₂O₃, SiO₂, Al₂SiO₅, а также SrO · 6Al₂O₃, что подтверждается наличием частот поглощения при 427, 465, 500, 615, 650, 775, 1095 см⁻¹. В продуктах окисления сплава, содержащего германий, имеются полосы поглощения при 522, 530, 555, 600, 640, 732 см⁻¹, относящиеся к GeO₂ (табл. 3).

В изменении свойств атомов и соединений в ряду Si–Ge–Sn–Pb проявляется вторичная периодичность. Как и в других подгруппах р-элементов, в подгруппе германия с ростом порядкового номера элемента в образовании химических связей большую роль играют d и f-орбитали. Поэтому в ряду Si–Ge–Sn–Pb устойчивое координационное число повышается.

В этом же ряду уменьшается роль внешней электронной пары в об-

разовании химических связей, и со стороны атома участвуют уже не четыре, а только два электрона.

Таблица 3

Фазовый состав продуктов окисления сплава АК7М2+0.05%Sr, легированного германием

Содержание германия в сплаве, мас. %	Частоты ИК спектров, см ⁻¹	Фазовый состав продуктов окисления сплавов по данным РФА
0.0	427, 465, 500, 670, 775, 1095 470, 590, 730, 960, 1035, 1060 540, 655, 830	γ – Al ₂ O ₃ SiO ₂ SrO · 6Al ₂ O ₃
0.05	465, 615, 750, 1100, 700, 470, 590, 730, 800, 1025, 1160 445, 545, 575, 810 522, 530, 555, 600, 640, 732	γ – Al ₂ O ₃ SiO ₂ , Al ₂ SiO ₅ SrO · 6Al ₂ O ₃ GeO ₂
0.3	460, 610, 650, 1100, 470, 590, 700, 730, 800, 1160 522, 530, 555, 600, 640, 732	γ – Al ₂ O ₃ SiO ₂ , Al ₂ SiO ₅ GeO ₂
0.6	460, 610, 1100, 470, 700, 800, 960, 1035, 1160 522, 530, 555, 600, 640, 732	γ – Al ₂ O ₃ SiO ₂ , Al ₂ SiO ₅ GeO ₂
1.0	460, 600, 1100, 435, 470, 700, 800, 810, 1160 522, 530, 555, 600, 640, 732	γ – Al ₂ O ₃ SiO ₂ , Al ₂ SiO ₅ , GeO ₂

Так, если для германия (подобно кремнию) наиболее характерна степень окисления +4, для свинца +2, то в соединениях олова различие в степенях окисления проявляется менее резко, хотя производные олова (IV) более устойчивы.

Уменьшение характерных степеней окисления в ряду Si–Ge–Sn–Pb можно объяснить внутрипериодическим возрастанием энергии, необходимой для перевода атомов из s²p²- в валентное sp³- состояние.

Энергии перехода s²p²-sp³ кДж/моль·г-ат. равны: Si - 391, Ge - 497, Sn - 472, Pb - 589. В то же время, в соответствии с увеличением размеров валентных орбиталей, в том же ряду, энергия однотипных связей Э–Х уменьшается.

В ряду Ge–Sn–Pb отчётливо усиливаются металлические свойства простых веществ. Измененные структуры простых веществ в ряду Ge–Sn–Pb соответствуют изменению их физических свойств: германий (ΔE = 0.78 эв.) и α-олово (ΔE = 0.08 эв.) – полупроводники, а β-олово и свинец-металлы. Изменение типа химической связи от преимущественно ковалентной, к металлической сопровождается понижением твёрдости простых веществ: германий довольно твёрд и хрупок, свинец же легче прокатывается в тонкие листы.

что свидетельствует об относительно высокой их пассивации под воздействием добавок свинца. Так, после одного часа выдержки в растворе электролита 3%-ного NaCl потенциал коррозии нелегированного сплава составляет -0.635В, а у сплава, содержащего 1.0 мас.% Pb -0.580В.

Зависимость скорости коррозии от концентрации легирующего компонента показывает, что добавки свинца практически не влияют на коррозионную стойкость сплава АК7М2 (табл. 6).

Учитывая анодные свойства добавок стронция и модифицирующее его влияние на эвтектическую составляющую сплава АК7М2, нами для исследования были получены сплавы с постоянным количеством стронция – 0.05% по массе, и содержанием германия от 0.05 до 1.0 % по массе.

Из табл. 7 видно, что добавки германия сдвигают значения потенциала свободной коррозии (E_{св}) в положительную область. Для данных сплавов характерна репассивация в области 0.680÷0.700 В. Пассивная область достаточно широкая 0.300÷0.570 В и устойчива. Потенциал питтингообразования сплавов АК7М2+0.05% Sr, легированного германием соответствует интервалу значений E_{по} = -0.57÷-0.67 В. С увеличением добавки германия от 0.05 до 1.0% (мас.), ток коррозии, как основная характеристика коррозионной стойкости сплава в зависимости от содержания германия в сплаве, немного снижается и минимальное значение достигает при концентрации германия в сплаве 0.05-0.3%, т.е. данные составы сплава являются наиболее коррозионностойкими в среде 3%-ного электролита NaCl.

Сплав АК7М2, модифицированный одновременно германием и стронцием, отличается более низкими значениями скорости коррозии, чем исходный сплав (табл. 7).

Таблица 7

Коррозионно-электрохимические характеристики сплава АК7М2+0.05%Sr, легированного германием в среде 3%-ного NaCl

Содержание Ge в сплаве, мас. %	-E _{св.к.}	-E _{кор.}	-E _{по.}	ΔE _{пас.}	i _{кор.}	K
	В (ХСЭ)				А/м ²	г/м ² · ч
АК7М2	0.633	0.770	0.670	0.350	0.025	0.008
АК7М2+ 0.05% Sr	0.670	0.750	0.540	0.570	0.024	0.008
0.05	0.650	0.680	0.645	0.400	0.020	0.004
0.3	0.570	0.700	0.600	0.440	0.022	0.006
0.6	0.585	0.670	0.580	0.400	0.027	0.009
1.0	0.600	0.670	0.570	0.440	0.030	0.011

Структура и свойства вторичных силуминов, легированных германием и стронцием

Алюминиевые литейные сплавы из вторичного сырья предназначены как для непосредственного изготовления фасонных отливок, так и для использования в качестве составной части шихты при плавке первичных алюминиевых литейных сплавов.

Таблица 6
Коррозионно-электрохимические характеристики сплава АК7М2, легированного германием, оловом и свинцом в среде 3%-ного NaCl

Содержание Ge, Sn и Pb в сплаве АК7М2, мас. %	-E _{св.к.}	-E _{кор.}	-E _{по.}	ΔE _{пас.}	i _{кор.}	K
	В (ХСЭ)				A/м ²	г/м ² ·ч
АК7М2	0.633	0.770	0.670	0.350	0.025	0.008
0.05 Ge	0.630	0.760	0.600	0.300	0.023	0.007
0.3 Ge	0.604	0.750	0.620	0.450	0.020	0.006
0.6 Ge	0.595	0.780	0.620	0.500	0.035	0.011
1.0 Ge	0.593	0.770	0.620	0.450	0.045	0.015
0.05 Sn	0.665	0.820	0.620	0.600	0.035	0.012
0.3 Sn	0.680	0.850	0.580	0.500	0.06	0.020
0.6 Sn	0.880	0.950	-	-	0.10	0.033
1.0 Sn	1.080	1.060	-	-	0.20	0.067
0.05 Pb	0.570	0.730	0.560	0.410	0.025	0.008
0.3 Pb	0.560	0.670	0.575	0.440	0.040	0.013
0.6 Pb	0.565	0.660	0.570	0.450	0.040	0.013
1.0 Pb	0.580	0.650	0.560	0.600	0.035	0.011

Смещение потенциала коррозии сплава АК7М2 в отрицательную область, при легировании его электроположительным элементом-оловом объясняется снижением защитных свойств пленок на поверхности образцов. Добавки олова увеличивают скорость коррозии исходного сплава.

Потенциодинамическое исследование коррозионно - электрохимического поведения, легированного свинцом сплава АК7М2 в среде электролита NaCl. Электрохимическое исследование сплава АК7М2, легированного свинцом проводили в среде 3%-ного раствора NaCl, при скорости развертки потенциала 2мВ/с. Приведенные в табл.6 основные электрохимические характеристики сплава АК7М2, легированного от 0.05% до 1.0% по массе свинцом, показывают характер изменения основных показателей коррозии. Добавки свинца, ввиду их малой растворимости незначительно смещают в положительную область электродные потенциалы сплава АК7М2. Потенциалы питтингообразования и репассивации при легировании сплава АК7М2, свинцом смещаются в положительную область.

Исследования свидетельствуют, что электродные потенциалы исследуемых сплавов в течение первого часа выдержки в электролите 3%-го NaCl становятся постоянными. Для сплава, легированного свинцом, характерно смещение потенциалов свободной коррозии и коррозии в положительную область. При этом, если у нелегированного сплава стабилизация потенциала коррозии наблюдается в течении 40 мин., то у легированных сплавов это происходит в 1.5 раза быстрее, т.е. в течение 25-30 мин.,

Усиление металлических признаков у простых веществ в ряду Ge–Sn–Pb отчётливо наблюдается и в характере изменения их химических свойств. В обычных условиях Ge и Sn устойчивы по отношению к воздуху и воде. Свинец на воздухе окисляется, покрывается синевато-серой окисной плёнкой.

Окисление жидкого кремния, германия и олова исследовано методом термогравиметрии. Показано, что при 873 К-1853 К окисление сплавов подчиняется параболическому закону. Кажущаяся энергия активации изменяется от 175.0 до 34.8 кДж/моль (табл. 4).

Таблица 4
Кинетические и энергетические характеристики процесса окисления жидкого кремния, германия и олова

Элемент	Температура плавления, К	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления К·10 ⁻⁴ , кг·м ⁻² ·сек ⁻¹	Кажущаяся энергия активации окисления, кДж/моль
Si	1687	1703	6.6	175.0
		1853	18.8	
Ge	1221	1223	4.4	39.8
		1248	4.7	
Sn	231.9	873	9.0	34.8
		923	20.0	

Анализ характера окисления элементов IV А подгруппы Периодической системы Д.И.Менделеева показывает, что наблюдается стройная зависимость кажущейся энергии активации окисления от заряда ядра элемента, - при переходе от германия к олову закономерно уменьшается величина кажущейся энергии активации (табл. 4). Подобная зависимость для сплавов одинаково состава наблюдается только при переходе от германия к олову (табл. 5).

Однако отсутствует прямая связь между кинетическими кривыми окисления в рассматриваемых сплавах алюминия с элементами подгруппы кремния и стронцием, диаграммами состояний этих систем и последовательности изменения физико-химических свойств элементов IV-группы. Этого следовало ожидать, так как суммарная скорость окисления складывается из целого ряда этапов, различных по своей природе. Тем не менее, можно проследить некоторые закономерности, характерные для окисления данных систем. Так, для сплавов всех исследованных систем имеет место общая тенденция к увеличению скорости окисления с повышением концентрации легированного компонента в доэвтектической области.

Исследование коррозионно-электрохимического поведения сплава АК7М2, легированного элементами подгруппы германия и стронцием

Методика исследования коррозионно-электрохимических свойств сплавов. В качестве объекта исследования использовали сплав марки АК7М2, с добавками германия, олова, свинца и стронция. Сплав АК7М2 был модифицирован в корундовых тиглях в печи сопротивления при температуре 750⁰С под слоем флюса состава: NaCl-32.5; KCl-32.5; LiCl-35.

Таблица 5

Кинетические и энергетические параметры процесса окисления твердого сплава АК7М2, легированного элементами подгруппы германия

Содержание Ge, Sn, Pb в сплаве АК7М2, мас. %	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления $K \cdot 10^{-4}$, $кг \cdot м^{-2} \cdot сек^{-1}$	Кажущаяся энергия активации окисления, кДж/моль
0.0	773	5.00	13.72
	798	5.36	
	823	5.80	
1.0 Ge	773	2.77	26.79
	798	2.84	
	823	2.91	
1.0 Sn	773	2.87	18.10
	798	3.08	
	823	3.29	
1.0 Pb	773	3.00	25.50
	798	3.18	
	823	3.35	

Из полученного расплава для исследования коррозионно - электрохимических свойств отливались цилиндрические образцы диаметром 8-10мм и длиной 60-100мм, боковая часть которых изолировалась так, что рабочей площадью служил торец электрода. Каждый образец предварительно отшлифовывали, обезжиривали спиртом и погружали в исследуемый раствор NaCl марки ЧДА для установления электрохимических характеристик и скорости коррозии.

Электрохимические исследования сплава АК7М2, легированного германием, оловом, свинцом и стронцием, проводились на потенциостате ПИ-50-1.1 в потенциодинамическом режиме со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с с выходом на программатор ПР-8 и самозаписью на ЛКД-4. Температура раствора в ячейке поддерживалась постоянно (20⁰С) с помощью термостата МЛШ-8. Электродом сравнения служил хлорсеребряный, вспомогательным – платиновый.

При электрохимических испытаниях образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от потенциала установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питтингообразования. Затем образцы поляризовали в обратном направлении до потенциала -1600 мВ, в результате чего происходило подщелачивание при электродного слоя поверхности сплава, наконец, образцы поляризовали вновь в положительном направлении.

Влияние добавок германия на коррозионно-электрохимическое поведение сплава АК7М2 в среде электролита NaCl

Исследования проводились в нейтральной среде 3% раствора NaCl, т.е. в морской воды с учётом влияния хлорид-ионов на коррозионно-электрохимическое поведение сплавов, легированных германием.

Результаты коррозионно-электрохимических испытаний сплава АК7М2, легированного германием, приведены в табл. 6. Все характеристики, представленные в таблице, даны относительно хлорсеребряного электрода и сняты при скорости развёртки потенциала 2мВ/с.

Из табл. 6 видно, что значения потенциалов свободной коррозии и питтингообразования (на прямом ходу кривой анодной поляризации) смещены в положительную область. Потенциал репассивации с ростом концентрации германия несколько смещается в отрицательную область. Ширина пассивной области колеблется от 0.30 до 0.50 В, минимальное значение ее соответствует сплаву содержащему 0.05 мас.% германия. Наименьшие значения плотности токов растворения из пассивного состояния и особенно тока коррозии (0.020- 0.023 А/м²) характерны для сплава, содержащего 0.05-0.3% германия. Эти сплавы являются наиболее коррозионностойкими в данной среде.

Исследования свидетельствуют, что в первые минуты погружения в раствор электролита сплава происходит резкое смещение потенциала коррозии в положительную область. Так, после одного часа выдержки в растворе электролита 3%-ного NaCl потенциал коррозии нелегированного сплава составляет -0,633 В, а у сплава содержащего 1.0% Ge – 0.593В.

Анодное поведение сплава АК7М2, легированного оловом в среде электролита NaCl. Для изучения коррозионно- электрохимических свойств сплавов, нами были выбраны следующие соотношения концентрации легирующего компонента: 0.05; 0.3; 0.6; 1.0 мас.% олова.

В табл. 6, приведены значения электрохимических параметров сплава АК7М2, легированного оловом в среде 3%-ного раствора хлористого натрия. С ростом концентрации олова значения потенциалов свободной коррозии и коррозии сдвигаются в более отрицательную область. Потенциал питтингообразования с ростом концентрации олова сдвигается в положительную область. Исследования также показали, что легирование оловом оказывает влияние на потенциал репассивации сплава АК7М2.