

**ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР
ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ДИФфуЗИОННОЙ ЗОНЕ
СИСТЕМ Al-Co, Al-Ti МЕТОДОМ ДИФфуЗИОННЫХ ПАР**

**Паничкин А.В.¹, Аубакирова Р.К.¹,
Тургараева Д.У.^{1,2} магистрант, Ибраева Г.М.^{1,2} докторант.
1993-2004ch@mail.ru**

¹Акционерное общество «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения», г.Алматы.

²Казахский национальный университет имени К.И.Сатпаев, г.Алматы.

Аннотация. Экспериментально исследована многослойная структура в системах алюминий – кобальт и алюминий- титан при 1300°С в процессе контактного плавления в термодиффузионном режиме. Контактные пары составляли из чистых веществ. Методом диффузионных пар были исследованы системы Al-Co и Al-Ti. Образцы получили при температурах изотермической выдержки от 1000°С до 1375°С и времени выдержки от 1 до 8 часов. При изучении закономерностей изменения строения диффузионной зоны были определены характер распределения элементов и условия образования концентрационных слоев интерметаллидов. Выявлены ширина диффузионной зоны, состоящей из слоев разной концентрации компонентов. Рассмотрены влияние температуры и времени изотермической выдержки на ширину и концентрацию слоев диффузионной зоны системы Al-Co и Al-Ti. В контактной зоне образуется от двух до трех слоев различного фазового состава и ширины, в зависимости от установившейся концентрации металлов.

Ключевые слова: интерметаллид, термодиффузия, диаграмма состояния, фаза, структура, титан, кобальт, алюминий.

Вопрос диффузионного взаимодействия компонентов систем в которых образуется один или более интерметаллидов, в твердом и жидком состояниях представляет определенный научный и практический интерес. Из литературных данных известно, что закономерности формирования диффузионной зоны как при температурах выше точки плавления одного из компонентов системы, так и при температурах разрыва растворимости и образования промежуточных фаз являются актуальными и перспективными в промышленности.

С помощью метода диффузионных пар вполне вероятно построить недостающие фрагменты фазовых полей при высоких температурах. В данной работе предпринята попытка в этом направлении.

Диффузия, как и все самопроизвольно протекающие физико-химические процессы, стремится привести систему в состояние равновесия [1], т.е. к минимальной свободной энергии. При этом в диффузионной зоне образуются как правило, все промежуточные фазы в той же последовательности, что и на соответствующей диаграмме состояния при данной температуре. На этой особенности, формирования диффузионной зоны основан метод «диффузионных пар», при помощи которого могут быть построены диаграммы состояния бинарных тройных и т.д. систем.

Методом диффузионных пар были исследованы системы Al-Co и Al-Ti. Образцы получили при температурах изотермической выдержки от 1000°С до 1375°С и времени выдержки от 1 до 8 часов. При изучении закономерностей изменения строения диффузионной зоны были определены характер распределения элементов и условия образования концентрационных слоев интерметаллидов. Образцы для исследования

методами рентгеноспектрального микроанализа и электронной микроскопии готовили с соблюдением требований, предъявляемых к размерам и качеству подготовки поверхности. Шлифы подготавливали на шлифовально-полировальном станке Tegramin-25/30 с использованием тонкого механического шлифования и полирования. Микроструктурные исследования выполняли на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL при увеличениях от $\times 100$ до $\times 4000$. Все автоматические расчеты вели в программе «ЕРМА».

В зависимости от режимов обработки ширина диффузионных слоев меняется. На это влияет не только режим, но и расположение твердого металла в расплаве. Ширина диффузионных слоев систем Al-Co и Al-Ti показано на рисунке 1.

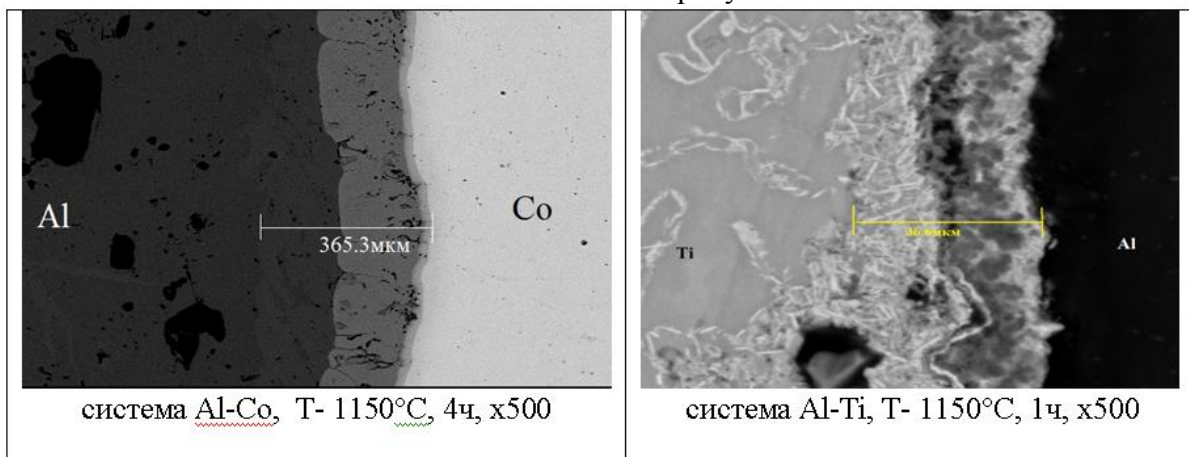


Рисунок 1 - Многослойная диффузионная зона с образованием слоев

Электронно-микроскопическое исследование диффузионной зоны сформировавшейся между алюминием и титаном оказалось несколько затрудненным вследствие сложности достижения контрастности изображения. Как показали исследования, во всех исследуемых образцах контрастность окраски диффузионной зоны плавно меняется от характерной для чистого титана до наблюдаемой на границе контакта с расплавом. Это свидетельствует о равномерном изменении концентрации элементов по сечению диффузионной зоны.

Таким образом, металлографическое исследование микроструктуры диффузионных пар системы Al-Ti показало, что в процессе взаимодействия этих металлов в диффузионной зоне, формируются структуры, соответственно диапазонам концентраций согласно диаграмме состояния. Распределение элементов по сечению диффузионной зоны соответствует фазовым полям диаграммы состояния [2].

Исследования показали, что при изотермическом взаимодействии пары Al-Ti формируется диффузионная зона, состоящая из нескольких слоев промежуточных фаз. При температурах выше точки плавления алюминия (658°C) диффузионная зона сформирована зернами полиэдрической формы. В процессе взаимодействия твердого и жидкого металлов (от 1100 до 1375°C) имеет место ярко выраженное явление ориентированного роста кристаллов – эпитаксия. Металлографическая картина этого явления заключается в том, что в структуре диффузионной зоны прослеживаются общие границы зерен. Соотношение ширины слоев системы Al-Ti показаны в таблице 1.

Таблица 1- Влияние режимов термодиффузии на соотношения ширины слоев

| № пробы | Параметры термодиффузий | Ширина диффузионной зоны В и диффузионных слоев b1, b2, b3, мкм |
|---------|-----------------------------------|---|
| 1 | 1100°C, 1ч, охлаждение на воздухе | V= 6.219 b1 =2.687 b2 =2.781 |
| 2 | 1150°C, 1ч, охлаждение на воздухе | V= 20.531 b1 =1.875 b2 =2.156 b3 =3.00 |
| 3 | 1250°C, 1ч, охлаждение на воздухе | V= 0.688 один слой |
| 4 | 1300°C, 1ч, охлаждение на воздухе | V=22.313 b1 =8.625 b2 =5.531 b3 =7.875 |
| 5 | 1350°C, 1ч, охлаждение на воздухе | V=38.05 b1 =15.35 b2 =11.02 b3 =11.68 |

Термодиффузия при температурах (1100°C -1375°C) в течение от 1 часа до 8 часов привела к образованию слоев интерметаллических соединений разделённых границами в диффузионной зоне. Микрорентгеноспектральный анализ фаз в диффузионной зоне показал, что последовательность их формирования соответствует, а состав близок к указанному по диаграмме состояния Al-Co. Соотношение ширины слоев системы Al-Co показаны в таблице 2.

Таблица 2– Влияние режимов термодиффузии на соотношения ширины слоев

| № пробы | Параметры термодиффузий | Ширина диффузионной зоны В и диффузионных слоев b1, b2, b3, мкм |
|---------|-----------------------------------|---|
| 1 | 1375°C, 1ч, охлаждение на воздухе | V=365.3: b1 =30.7 b2=161.5 b3=207.6 |
| 2 | 1350°C, 1ч, охлаждение на воздухе | V=2327.2: b1=5.38 b2=24.6 b3=2297 |
| 3 | 1300°C, 4ч, охлаждение на воздухе | V= 33.6: b1=26.6 b2=6.6 |
| 4 | 1250°C, 4ч, охлаждение на воздухе | V=711.5: b1=6.27 b2=8.13 |
| 5 | 1150°C, 5ч, охлаждение на воздухе | V=365.3: b1 =30.7 b2=161.5 b3=207.6 |
| 6 | 1100°C, 5ч, охлаждение на воздухе | V=2327.2: b1=5.38 b2=24.6 b3=2297 |

Особого внимания в системе Al-Co заслуживает наиболее широкая зона, диффузионный слой граничащий с расплавом. Обнаружено, что количество пор коррелирует с шириной диффузионной зоны, так как преобладает вакансионный механизм диффузии. Чем больше количество пор в диффузионном слое, тем меньше диффузионный слой, так как скорость диффузии резко возрастает. Характерной особенностью этой фазы, образующейся диффузионной зоне при T=1150⁰C, а также при более высоких температурах, является формирование рассеянной пористости, которая

произвольно концентрируется в отдельных областях и увеличивается с повышением температуры. Концентрация в пределах этого слоя меняется не существенно и несколько смещена относительно фазовых границ по диаграмме состояния Al-Co в сторону кобальта.

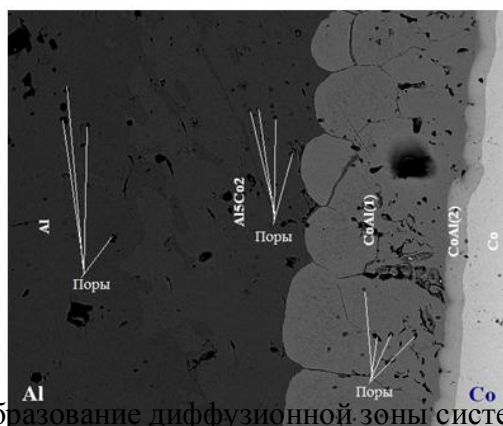


Рисунок 2 - Порообразование диффузионной зоны системы Al-Co, T=1150°C

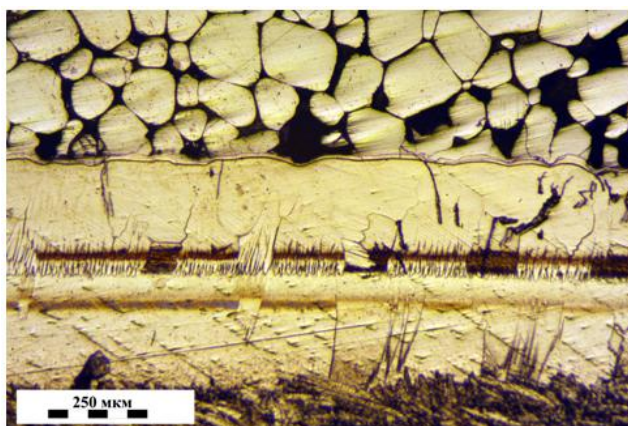


Рисунок 3 - Диффузионная зона с образованием глобOIDов системы Al-Ti, T=1300°C

Исследования показали, что при изотермическом взаимодействии пары Al-Ti формируется глобOIDы. Формирование глобOIDов в системе Al-Ti показан на рисунке 3. Формирование на границе расплав алюминия-твердый титан постепенно утолщающегося двухфазного слоя с высоким содержанием дисперсных частиц или глобOIDов алюминидов обнаруживалось ранее [3].

Выводы

1 Приведенные экспериментальные исследования структурных превращений в контактной зоне методом диффузионных пар вывели ряд особенностей диффузионного взаимодействия компонентов Al-Co и Al-Ti. В контактной зоне образуется от двух до трех слоев различного фазового состава и ширины, в зависимости от установившейся концентрации металлов. Скорость роста каждого слоя зависит от температуры и времени изотермической выдержки. Наблюдается соответствие полученных интерметаллидов: AlCo, Al₅Co₂, Al₁₃Co₄, Al₃Co и Al₉Co₂ существующим интерметаллидам по диаграмме состояния системы Al-Co, а также по системе Al-Ti считается вероятным существование соединений Ti₃Al, TiAl₃, TiAl и TiAl₂ [3].

2 Установленные в работе новые сведения о характере распределения элементов, микроструктуре диффузионной зоны, особенностях формирования диффузионных слоев под действием изотермических температур и температурно-временные условия получения жаропрочных интерметаллических соединений кобальта и титана могут быть положены в

основу создания технологий производства жаростойких покрытий на металлические детали и узлы специальной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гегузин Я.Е. Диффузионная зона. – М.: Наука, 1979. - 344 с.
2. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Под общей редакцией Лякишева. Т3. Книга1. Машиностроение, 1996-2000 г.
3. Гуревич, Л. М. Механизмы структурообразования при взаимодействии титана с расплавом алюминия // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 6(109) ВолгГТУ. – Волгоград, 2001. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении» ; вып. 3). – С. 6–13.

REFERENCES

1. Geguzin Y.E. The diffusion zone. - M.: Nauka, 1979 - 344 p.
2. The diagrams of binary metallic systems. Edited Lyakisheva. T3. Book1. Machinery, 1996-2000.
3. Gurevich L. M. Mechanisms of pattern formation in the titanium reacting with molten aluminum // News VSTU: Hi. Sat. scientific. Art. Number № 6(109) VSTU. - Volgograd, 2001. - (Series "Materials Science Problems, welding and strength in mechanical engineering", issue 3.) . - P. 6-13 .

Research of multi-layered structures of intermetallic connections is in diffusive zone systems of al - co, al - ti by method of diffusive pairs

Annotation. Experimentally investigational multi-layered structure in the systems an aluminium is a cobalt and aluminium - titan at 1300 °C With in process this pin melting in the thermal-diffusion mode. Pin pairs were made from clean substances. By the method of diffusive pairs were investigational system Al - Co and Al - Ti. Standards got at the temperatures of isothermal self-control from 1000 °C to 1375 °C and time of self-control from 1 to 8 hours. At the study of conformities to law of change of structure of diffusive zone were certain character of distribution of elements and condition of formation of concentration layers of intermediate constituent. Educued width of diffusive zone consisting of layers of different concentration of components. Considered influence of temperature and time of isothermal self-control on a width and concentration of layers of diffusive zone of the system Al - Co and Al - Ti.

Keywords: intermediate constituent, thermodiffusion, diagram of the state, phase, structure, titan, cobalt, aluminium.