

- созданию единой системы управления отходами в соответствии с международными принципами 4R с введением запрета на ввоз в страну технологий и оборудования с выработанным ресурсом;
- проведению инвентаризации «исторических загрязнений» на территории Мангыстауской области и разработке масштабных мер по их поэтапной ликвидации;
- повышению экономической и экологической эффективности учета устойчивого управления отходами

ЛИТЕРАТУРА

1. Брагин А.Г. Промышленные отходы Республики Казахстан и проблемы их утилизации // Алматы, Экология и промышленность Казахстана, 2005, №1, с. 57-67.
2. Алимтаева А.А. Основные направления достижения экологической устойчивости в Республике Казахстан // Алматы, Экология и промышленность Казахстана, 2007, №3, с. 7-12.
3. Мусабекова А.А. Формирование системы управления отходами производства и потребления для устойчивого развития // Алматы, Экология и промышленность Казахстана, 2005, №3, с. 50-52.
4. Самакова А.Б. Аналитическая справка к парламентским слушаниям по вопросам отходов производства и потребления. Астана, 2006.
5. Окружающая среда и устойчивое развитие в Казахстане. Серия публикаций ПРООН Казахстан.-Алматы, 2004, 210 с.
6. Нормативные документы МООН РК, 2004.
7. РНД 03.1.0.3.01-96 Порядок нормирования объемов образования и размещения отходов производства. М., 1996, 96 с.
8. Кулманова Н.К. Комплексное использование природных и вторичных ресурсов. Учебное пособие. Алматы, КазАТК, 2005, 140 с.
9. Ласкорин Б.Н. и др. Безотходная технология в промышленности. М., Стройиздат, 1986, 270 с.

УДК 669.2.017:620.18

Аубакирова Рашида Каримовна – к.т.н.

(Алматы, ДТОО «Институт космических исследований»)

Алпысбай Илияс Маулетулы – соискатель

(Алматы, ДТОО «Институт космических исследований»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР ПРОМЫШЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ТЕРМОДИФФУЗИИ

Детали и узлы конструкций, имеющие в своем составе слои с разными физическими свойствами, используются чрезвычайно широко. Среди них детали с поверхностным упрочнением, сварные соединения, биметаллические ферромагнитные изделия, слоистые конструкции и многие другие. В то же время целый ряд вопросов развития диффузионных процессов при контактах типа «твердое-твердое», «твердое-жидкое» и «жидкое-жидкое», являющихся фундаментальными факторами формирования слоистых структур при контактном плавлении, еще мало изучены. В первую очередь, это касается диффузионных зон, образующихся на границе двух металлов при отжиге, состав которых может содержать структуры, не отмеченные на известных фазовых диаграммах. Это, в свою очередь, влияет не только на количество получаемых слоев, но и конечные свойства образующихся многослойных структур.

Рассматриваемые в работе результаты по изучению слоистых структур в сплавах алюминий-никель и алюминий-медь могут быть применены при изготовлении деталей и

элементов ракетно-космической техники. Основной задачей работы являлась разработка основ создания слоистых материалов с заданными свойствами.

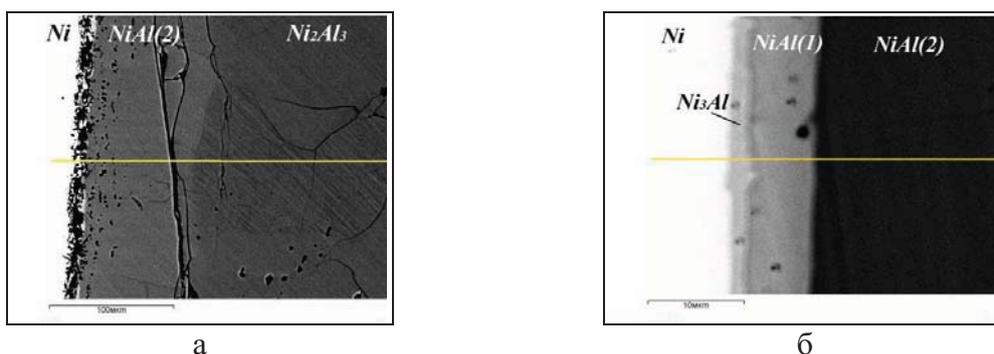
Для изучения диффузионного взаимодействия компонентов в жидкий, более низкоплавкий компонент вводили стержень из более тугоплавкого компонента. Таким образом обеспечивался качественный контакт металлов, исключая оксидные пленки на поверхности раздела. Затем, в кварцевой реторте в вакууме 0,1 мм.рт.ст. образцы нагревались до заданной температуры и изотермически выдерживались в течение заданного времени и охлаждались на воздухе. Обработка велась в защитной среде. Для исследований использовали продольный или поперечный шлиф образца.

Сплавы на основе NiAl имеют ряд преимуществ по сравнению с другими Ni-суперсплавами: высокую температуру плавления, достаточный модуль упругости, высокую теплопроводность, низкую плотность и высокую коррозионную стойкость при повышенных температурах. Поэтому их применяют, в первую очередь, при создании перспективных образцов авиакосмической техники, в том числе летательных аппаратов с гиперзвуковыми скоростями, в двигательных установках.

Эффективность применения метода диффузионных пар для исследования двойных и многокомпонентных систем показали многочисленные экспериментальные данные [1-3]. Наряду с данными о составе фаз и протяженности областей их гомогенности, метод создания диффузионных слоев позволяет одновременно определить и диффузионные характеристики фаз: скорость их роста и коэффициент взаимной диффузии, с которым, в свою очередь, связан целый ряд физико-химических характеристик фаз.

Эксперименты методом термодиффузии образцов Al-Ni проводились при температурах от 900 до 1700⁰С и времени выдержки - от 5 до 420 минут. В процессе исследования закономерностей изменения структуры, фазового состава и свойств диффузионной зоны определены условия наиболее интенсивного роста каждой из фаз, существующих в системе Al-Ni. Впервые установлено, что существующая в широком интервале концентраций интерметаллидная фаза NiAl, формируется в диффузионной зоне в виде двух слоев NiAl(1) и NiAl(2), которые по составу соответствуют крайним областям этого соединения по диаграмме состояния. В интервале температур 950-1150⁰С эти фазы разделены четкой поверхностью раздела при переходе через которую концентрация изменяется на величину >10ат%. Согласно кривым характеристического излучения, вблизи границы раздела этих фаз концентрация меняется незначительно, что не характерно для непрерывного ряда твердых растворов. В связи с этим, есть все основания предполагать разрыв растворимости в соединении NiAl и существование в этой области двух фаз. Поскольку данное соединение представляет практический интерес, то определение фазовых полей, а также выявление реакций, по которым они образуются, является важным, поскольку это позволит разработать новые материалы с более высоким комплексом свойств. В связи с этим проведены эксперименты по выявлению областей существования этих фаз.

На рисунке 1 показано, что в диффузионной зоне, сформировавшейся при 1050⁰С в течение 3 часов, образуются две фазы NiAl(1) и NiAl(2) в виде четко выраженных слоев и показано формирование обширной пористости в фазах Ni₃Al и NiAl(1), которая будет прослеживаться и при более высоких температурах обработки. Исследование структуры диффузионной зоны, сформировавшейся между никелем и алюминием при 1200⁰С в течение 90 минут показало, что в ней наиболее интенсивно формируется фаза NiAl(2), находящаяся в контакте с расплавом. Фазы Ni₃Al и NiAl(1) образовались в виде более узких слоев. Анализ состава вблизи с границей раздела фаз NiAl(1) и NiAl(2) показал наличие скачка концентрации величиной 10,6 ат.%. Результаты анализа фаз, формирующихся в диффузионной зоне при различных режимах обработки, сведены в таблице 1.



а-1050⁰С, в течение 3 часов, x200; б- 1050⁰С в течение 3 часов, x1000,

Рисунок 1 – Структура диффузионной зоны в результате контакта Ni и Al

Разрыв растворимости в фазе NiAl имеет закономерно очерченные области, незначительно сужающиеся с повышением температуры. Таким образом, можно заключить, что наши выводы о существовании в этой области двух фаз верны. Состав фазы NiAl(2) близок к эквиаtomному, но несколько смещен в сторону алюминия (42-47ат.%Ni, а при низких температурах 44-47ат.%Ni), поэтому стехиометрическое соотношение элементов в нем должно быть верно. Фаза NiAl(1) формируется в интервале концентраций 58-65,5ат%Ni, а при низких температурах ее состав близок к 62ат.%Ni. Такое соотношение элементов соответствует соединению Ni₅Al₃. Между тем, как следует из последнего варианта диаграммы состояния этой системы, данное соединение действительно образуется и существует при температурах ниже 750⁰С [4].

Также в ходе исследований диффузионной зоны был обнаружен ряд аномалий, связанных с ускоренным ростом фаз по отдельным направлениям. Так, при 950⁰С после изотермического взаимодействия в течение 7 часов обнаружено формирование кристаллов фазы NiAl(2) в слое фазы Ni₂Al₃, которые росли из слоя фазы NiAl(2) и простирались в глубь второй фазы на величину до 10мкм. Вероятно, такая структура сформировалась по мере передвижения границ раздела в процессе диффузии и роста фаз, а обнаруженные кристаллы сохранились по причине стремления системы к увеличению площади поверхности раздела фаз и, как следствие, повышению скорости их роста.

Таблица 1 – Интервал концентраций фаз (ат.%Ni), образующихся в диффузионной зоне в результате изотермического контакта Al и Ni при различных температурах

Параметры изотермической выдержки	Ni ₃ Al	NiAl (1)	NiAl (2)	Ni ₂ Al ₃	NiAl ₃
700 ⁰ С, 7 часов	-	-	-	37,34-40,73	23,78-24,16
800 ⁰ С, 7 часов	-	-	-	37,86-42,36	23,5-24,71
950 ⁰ С 7 часов	76,47	62,45	44,28-47,94	42,88-47,94	-
1000 ⁰ С, 2 часа	74,47	62,03	44,98	38,7-41,51	-
1050 ⁰ С, 3 часа	73,01	58,04-62,22	43,05-46,38	39,32-42,12	-
1100 ⁰ С, 1 час	75,72	59,42-63,22	43,26-46,63	38,53-42,11	-
1150 ⁰ С, 2 часа	74,43	59,83-63,88	43,9-46,89	-	-
1200 ⁰ С, 1,5 часа	74,99	58,14 -65,63	47,41-42,18	-	-

Другая аномалия обнаружена в диффузионной зоне после взаимодействия при 1200⁰С, где в фазах Ni₃Al и NiAl(1) сформировалась цилиндрическая пористость. Установлено, что с увеличением температуры вместо закономерного повышения концентрации никеля происходит ее снижение на величину порядка 1,5%. Полученные

данные позволяют заключить, что сформировавшиеся поры являются «стоками» (каналами), по которым атомы алюминия проникают в никель. Причиной такой аномалии, очевидно, является стремление системы к увеличению скорости фазообразования для достижения равновесия, и поскольку скорость поверхностной диффузии может превышать скорость объемной диффузии в десятки раз, то происходит формирование таких «каналов».

Таким образом, в результате проведенных исследований по термодиффузионному взаимодействию алюминия и никеля при различных режимах обработки установлено, что в пределах широкого концентрационного интервала существования фазы AlNi наблюдаются два интерметаллических соединения NiAl(1) и NiAl(2), имеющие поверхность раздела и различающиеся по составу, что указывает на разрыв растворимости в системе. Скачок концентрации на границе раздела составляет величину более 10 ат. %.

Аналогичные эксперименты проводились по контактному плавлению пар компонентов «твёрдая медь-жидкий алюминий» в интервале температур от 530°C до 800°C с временем выдержки от 2 минут до 60 минут. Термодиффузия при 700°C в течение 1 часа, а также при 800°C в течение 5 минут привела лишь только к образованию однородных сплавов с дендритной структурой, характерной для литого состояния.

Более оптимальный режим создания слоистых структур выявлен при контактном плавлении меди с алюминием при 550°C-670°C. В результате со стороны алюминия получен сплав, представляющий собой эвтектику, состоящую из смеси твёрдого раствора на основе алюминия (χ -фаза) и интерметаллида CuAl₂ (θ -фаза). На границе контакта образуется диффузионная зона, состоящая из нескольких слоёв, разделённых границами. Ширина этих слоёв составляет от 5 до 100 Мкм. Величина микротвёрдости высокая, в разных слоях она составляет около 4500 МПа; 5600 МПа, т.е. это слои интерметаллических соединений, которые образуются в данной температурной области, а именно θ -фаза → CuAl₂ и η_1 -фаза-CuAl.

На всех микроструктурах на границе контакта наблюдается, по меньшей мере, три слоя, толщина каждого из которых меняется в зависимости от температуры обработки. Образовавшиеся слои являются, по-видимому, следствием протекания согласно диаграмме состояния перитектических реакций со стороны меди. Выявлено, что при температуре 630°C достигается наибольшая ширина образовавшихся слоёв.

Эксперименты по изучению влияния времени выдержки на трансформацию полученных слоистых фаз при термодиффузии пар компонентов «твёрдая медь - жидкий алюминий» при 630°C и выдержке 5 и 30 минут показали, что процесс взаимодействия меди и алюминия при указанных температурах приводит к образованию θ -фазы во всех зонах, а θ - и η -фазы – в зоне меди и контактной зоне, причем наиболее интенсивно процесс идет в контактной зоне. Дополнительные методы исследования выявили наличие многослойной структуры в относительно небольших диапазонах. Так, с помощью рентгеноспектрального микроанализатора зафиксированы фазы, не обнаруженные оптическим микроскопом. Результаты показаны на рисунке 2. Процентное соотношение и идентификация полученных фаз показаны в таблице 2.

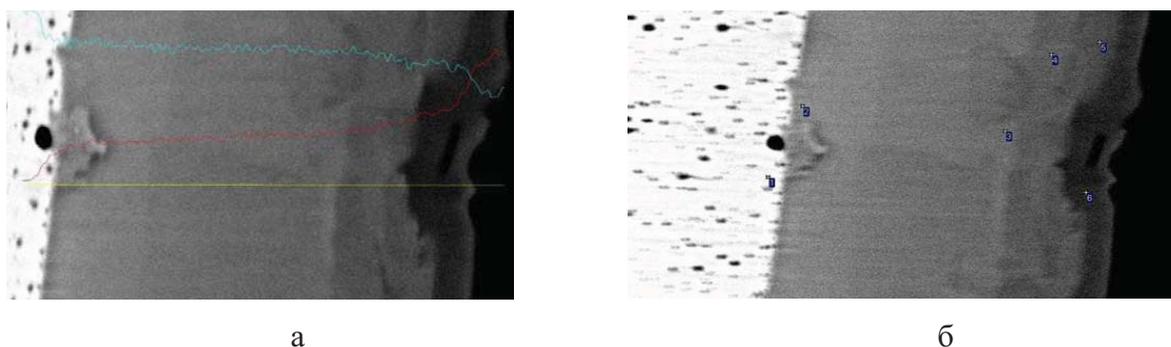


Рисунок 2 – Микроструктура диффузионной структуры зоны контакта сплава Al-Cu, выдержанного при 630°C 120 минут и охлажденного с печью x2600

Таблица 2 – Данные рентгеноспектрального микроанализа образца системы Al-Cu, выдержанного при 630°C 30 минут и охлажденного в воде

Спектр	Al, %ат.	Cu, %ат.	Фаза
1	1,60	98,40	(Cu)
2	33,15	66,85	γ_2
3	40,33	59,67	ζ_2
4	42,62	57,38	ζ_2
5	46,79	53,21	η_2
6	50,13	49,87	$\eta_2 + \Theta$
7	37,20	62,80	δ

Таким образом, определены наиболее благоприятные условия термообработки, при которых в контактной зоне образуются слоистые структуры. Установлено, что в приконтактной области может быть получено от одного до четырёх слоёв различного фазового состава, морфологии и твёрдости. Выявлены характерные морфологические типы структур. Полученные фазы представляют собой интерметаллические соединения Al_2Cu , $CuAl$, Cu_3Al , Cu_9Al_4 , а также твердые растворы на основе интерметаллидов и исходного компонента.

Выводы:

На контакте никеля и алюминия получены слои интерметаллидов $NiAl$ и Ni_3Al , обладающие высокими прочностными характеристиками. Обнаружена концентрационная неоднородность фазы $NiAl$, что должно отразиться на строении равновесной диаграммы состояния. Изучены закономерности формирования алюмоникелевых интерметаллидов в диффузионной зоне при контактном плавлении, выявлены температурно-временные параметры обработки, при которых образуется соединение $NiAl$ максимальной ширины.

В области термодиффузионного контакта меди и алюминия получены многослойные структурные зоны. Определены наиболее благоприятные условия обработки, при которых в контактной зоне образуются слоистые структуры. Установлено, что в приконтактной области системы медь-алюминий может быть получено от одного до четырёх слоёв различного фазового состава, морфологии и твёрдости. Полученные фазы представляют собой интерметаллические соединения Al_2Cu , $CuAl$, Cu_3Al , Cu_9Al_4 , а также твердые растворы на основе интерметаллидов и алюминия.

Результаты этих исследований могут послужить основой при разработке и создании нового класса конструкционных материалов - слоистых интерметаллидных композитов (СИК). В этом плане сплавы на основе алюминия представляет особый интерес, т.к. они

применяются для производства узлов и деталей авиационной и космической техники, таких как обшивка фюзеляжей самолётов, топливные форсунки, детали винтов, детали сопла ракетного двигателя и др.

Накопление опытных данных в таких фундаментальных исследованиях может быть использовано в промышленных целях, как для развития соответствующих производств на земле, так и на формирование научных основ технологии производства материалов в космосе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Paulasto, M. Thermodynamic and experimental study of Ti-Ag-Cu alloys / M. Paulasto, F. J. J. Van Loo, J.K. Kivilahti // *J. Alloys and Compounds*. - 1995. - Vol. 220, № 1-2. - P. 136-141.
2. Minamino, Y. Effect of high pressure on diffusion reaction and phase diagram in Al-Mg system / Y. Minamino, T. Yamane, T. Miyake, M. Koizumi, Y. Miyamoto // *Rept. Res. Group Metallograph. Study Aluminum High Pressure, Nov.*, - 1994. - Osaka, 1994. - P. 77-83.
3. Угасте, Ю.Э. Взаимная диффузия в интерметаллических фазах с узкой областью гомогенности / Ю.Э. Угасте, К.В. Пукк // *Металлофизика и новые технологии*. - 1996. – Т.18, - № 3. - С. 35-38.
4. Campbell, C.E. Comparison of experimental and simulated multicomponent Ni-base super-alloy diffusion couples / C.E. Campbell, J-C Zhao, M.F. Henry // *J. Phase Equili. Diff.*, 2004. - №25 - P. 6-15.

УДК 693.547.3

Бржанов Рашит Темержанович – к.т.н., доцент (Актау, Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга им.Ш.Есенова)

К ВОПРОСУ ЭКОНОМИЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ

Актуальность проблемы заключается в необходимости экономического подхода в выборе технологии зимнего бетонирования. Особенно это относится к возведению зданий из монолитного бетона. Рациональный выбор технологии зимнего бетонирования повышает эффективность строительства, появляется возможность разнообразия архитектурной выразительности и объемно-планировочных решений, при минимальных расходах ресурсов. Это положение является особенно важным для большинства регионов России и Казахстана, где зимний период длится более 6 месяцев в году.

Многовековая строительная практика, основанная на применении различных материалов, выработала ряд специальных технологий, которые соответствующим образом отвечают на изменения окружающей среды.

Основными параметрами выбора технологии производства зимнего бетонирования являются: массивность бетонируемых конструкций; критическая прочность бетона; наличие развитой инфраструктуры по обеспечению строительства энергоресурсами и оборудованием. Модуль поверхности характеризует массивность конструкций и равен отношению поверхности охлаждения конструкции F , m^2 к ее объему V , m^3 [1,2].

Массивность конструкции обратно пропорциональна величине M_n . В практике строительства считают: массивными с $M_n \leq 3$; средней массивности - M_n от 3 до 8 и ажурными с $M_n > 8$.

Выбор методов зимнего бетонирования, производится исследованиями в зависимости от поставленных ими задач. Так, одни исследователи выделяют две группы методов зимнего бетонирования: беспрогревные и электротермообработки. Во многих случаях при выборе метода производства работ в зимнее время необходимо учитывать