

Научная статья

УДК 621.762.04

doi: 10.55196/2411-3492-2023-1-39-109-116

Научное обоснование метода изучения концентрационного распределения компонентов в композиционных материалах технических средств

Светлана Наниевна Ахкубекова

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030, aminka07-07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1359-4031>

Аннотация. В статье рассмотрен процесс образования жидкой фазы в контакте разнородных металлов при температуре ниже температуры плавления наиболее легкоплавкого компонента. Образующаяся жидкая диффузионная зона после кристаллизации дает эффект, равносильный созданию нового материала, свойства которого отличаются от свойств каждого отдельно взятого компонента, участвующего в этом процессе. Перспективность направления очевидна для создания новых композиционных (конструкционных) материалов с требуемыми структурой и свойствами в технологиях и технических средствах агропромышленного комплекса. В статье основное внимание уделено описанию методов нахождения концентрационного распределения компонентов в диффузионных зонах, полученных методом контактного плавления, осуществленного в нестационарно-диффузионном режиме. К настоящему времени разработан ряд способов, которые используются исследователями: термо-ЭДС, повторного плавления, реперных точек, отбора жидких слоев и др. Проведенный анализ вышеуказанных методов нахождения концентрационного распределения компонентов в диффузионных зонах, полученных контактным плавлением, указывает на их недостатки и преимущества. Отмечено, что значительным недостатком является исследование компонентов в диффузионных зонах в твердом состоянии, структура которых существенно отличается от жидкого состояния. Указанный недостаток в определенной степени решается в методе жидких слоев. Впервые построена зависимость концентрационного распределения компонентов в системе висмут – олово в нижней части контактной прослойки. Установлен нелинейный ход изменения олова вдоль указанной зоны. На основе проведенных исследований методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии изучено концентрационное распределение в сложной системе висмут (олова + 3 ат. % индия), которая дала возможность установить влияние примеси на искомый ход концентрационного распределения – оказалось, что примесь по-разному влияет на процесс распределения компонентов в зависимости от условий проведения опыта.

Ключевые слова: композиционный (конструкционный) материал, контактное плавление, концентрационное распределение, эвтектические системы, термостат, диффузионная зона, контактные прослойки, компонент

Для цитирования. Ахкубекова С. Н. Научное обоснование метода изучения концентрационного распределения компонентов в композиционных материалах технических средств // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023. № 1(39). С. 109–116. doi: 10.55196/2411-3492-2023-1-39-109-116

Original article

Scientific substantiation of the method for studying the concentration distribution of components in composite materials of technical tools

Svetlana N. Ahkubekova

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik, Russia, 360030, aminka07-07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1359-4031>

Abstract. The article considers the process of formation of a liquid phase in the contact of dissimilar metals at a temperature below the melting point of the most fusible component. The resulting liquid diffusion zone after crystallization gives an effect equivalent to the creation of a new material, the properties of which differ from the properties of each individual component involved in this process. The prospects of this direction are obvious for the creation of new composite (structural) materials with the required structure and properties in technologies and technical means of the agro-industrial complex. The article focuses on the description of methods for finding the concentration distribution of components in diffusion zones obtained by the method of contact melting, carried out in a non-stationary-diffusion mode. Nowadays a number of methods have been developed that are used by researchers: thermo-EMF, repeated melting, reference points, selection of liquid layers, etc. The analysis of the above mentioned methods for finding the concentration distribution of components in diffusion zones obtained by contact melting indicates their disadvantages and advantages. It is noted that a significant disadvantage is the study of components in diffusion zones in the solid state, the structure of which differs significantly from the liquid state. This disadvantage is solved to a certain extent in the method of liquid layers. For the first time, the dependence of the concentration distribution of components in the bismuth-tin system in the lower part of the contact layer has been constructed. A non-linear course of tin change along the indicated zone is established. On the basis of the studies carried out by X-ray photoelectron spectroscopy, the concentration distribution in the complex system bismuth – (tin + 3 at. % indium) was studied, which made it possible to establish the effect of impurities on the desired course of the concentration distribution – it turned out that the impurity differently affects the process of distribution of components depending on the conditions of the experiment.

Keywords: composite (structural) material, contact melting, concentration distribution, eutectic systems, thermostat, diffusion zone, contact layers, component

For citation. Ahkubekova S.N. Scientific substantiation of the method for studying the concentration distribution of components in composite materials of technical tools. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2023;1(39):109–116. (In Russ.).
doi: 10.55196/2411-3492-2023-1-39-109-116

Введение. Возникновение жидкой фазы в контакте разнородных веществ при температуре ниже температуры плавления контактируемых тел – широко распространённое явление в природе.

Д. Д. Саратовкин и П. А. Савинцев в 40-ые годы прошлого столетия, глубоко проанализировав существующую к тому времени научную литературу, пришли к выводу, что рассматриваемое явление представляет собой абсолютно самостоятельное научное направление в физике конденсированного состояния вещества и может широко использоваться во многих технологиях и стать основой новых методов строения вещества. В связи с изложенным Д. Д. Саратовкин и П. А. Савинцев данное направление науки назвали контактным плавлением (КП) [1].

Как оказалось, КП может протекать между трущимися телами на границе зерен сплавов при их нагревании; оно играет существенную роль в природе при формировании горных пород. Явление КП проявляется при ликвида-

ции гололеда: насыпая NaCl, температура плавления которого $T_{nl}^{NaCl} = 801^{\circ}C$, на лед ($T_{nl} = 0^{\circ}C$), жидкость появляется при $-21,8^{\circ}C$, т. е. плавление происходит при отрицательной температуре. КП лежит в основе получения низких (отрицательных) температур, является основой контактно-реактивной пайки и сплавов, не содержащих свинец, ртуть и другие токсичные металлы [2].

Особое место в научно-исследовательских направлениях, связанных с изучением явления переноса компонентов в жидком состоянии вещества, представляет явление взаимной диффузии.

КП, проведенное в нестационарно-диффузионном режиме (НДР), лежит в основе изучения взаимной диффузии в жидком состоянии, т. к. позволяет контролировать конвекцию [3–6].

Как известно, природа диффузии между его компонентами определяется их структурным состоянием, которое в свою очередь зависит от соотношения взаимодействующей

щих компонентов, т. е. от концентрации. Количественным параметром взаимной диффузии является коэффициент диффузии, он также зависит от концентрации, таким образом, возникает необходимость в нахождении концентрации компонентов ($C(x)$) вдоль диффузионных зон.

К настоящему времени разработанные и используемые способы построения $C(x)$ несовершенны и требуют дальнейшей доработки. В связи с этим необходимо разработать новый метод нахождения $C(x)$, что требует анализа существующих, указания их достоинств и недостатков, чему и посвящено данное исследование.

Цель исследования – проанализировать существующие к настоящему времени методы построения концентрационного распределения компонентов в диффузионных зонах, чтобы показать преимущества и недостатки каждого способа, что поможет исследователю в подборе метода для исследования $C(x)$, а также для разработки новых композиционных (конструкционных) материалов с заданными структурой и свойствами.

Материалы, методы и объект исследования. Последовательно рассмотрены существующие к настоящему времени методы концентрационного распределения компонентов $C(x)$ в диффузионных зонах, полученных при КП, осуществленных в НДР: метод реперных точек, термо – ЭДС, повторного плавления и отбора жидких слоев. Отметим, что во всех рассматриваемых методах учитывается, что контактная жидкость на границах с плавящимися кристаллами имеет ликвидусную концентрацию, определяемую по диаграмме плавкости. При контактном плавлении в изотермическом диффузионном режиме две граничные концентрации в жидкой прослойке наперед известны.

Чистота исходных элементов висмута, индия и олова в наших экспериментах составляла не менее 99,999%. Твердый раствор (олова +3 ат. % индия) изготовлялся в жидком силиконовом масле при температуре не менее 250–300°C, хорошо перемешивался и затем вытягивался в стеклянную трубку диаметром $d = 3\text{--}3,2$ мм. Протяжённость образцов составляла 3 см. Таким же способом готовили и образцы для контактирования из чистого жидкого висмута. Контактное твердых об-

разцов проводили в термостате при $T = 145^\circ\text{C}$. Опыт проводился от 20 мин до 1 часа. В эксперименте участвовало 3 пары образцов.

Результаты исследования. Одна из основных задач при исследовании взаимной диффузии, образующейся при КП, сводится к нахождению распределения концентрации диффундирующего элемента $C(x)$ в этой зоне. Рассмотрим существующие методы.

Метод реперных точек [7]. Как известно, при кристаллизации жидкой части контактной прослойки наблюдается рост дендритов от границы твердых металлов. Встречаются дендриты в эвтектической плоскости, которая располагается в месте контакта разнородных металлов. Из описанного следует, что данный подход позволит строить $C(x)$ по 3 точкам: 2 ликвидусные на границах жидкость – твердое и точка расположения эвтектики.

Подспорьем к рассматриваемому подходу является случай, когда взаимодействуют компоненты, образующие химсоединения. Отыскав местонахождение этих соединений в контактной прослойке, можно получить дополнительные точки для построения $C(x)$.

Таким образом, суть метода реперных точек заключается в том, что кривую $C(x)$ строят по граничным ликвидусным концентрациям и концентрациям, соответствующим интерметаллидам (химсоединениям), имеющимся в системе, и он может быть использован в качестве экспресс-метода.

В работе [7] указанный метод был использован для построения кривых концентрационного распределения в контактных прослойках систем In-Bi и Tl-Bi. Зависимость $C(x)$ в этих системах имела линейный ход.

Преимуществом данного способа является его простота: рассматривается контактная прослойка и расположение на ней соответствующих фаз, с учетом того, что на границах жидкость – твердое существует ликвидусная концентрация, которая отмечена на диаграмме состояния.

К недостатку метода можно отнести неточность определения координат расположения реперных точек в контактной прослойке в силу того, что они сами имеют некоторую протяжённость.

Метод термо-ЭДС приводится в работе [8]. Из полученного контактным плавлением образца 1 изготовляют параллелепипед и

вклеивают в теплоизолирующую пластинку 2, которая делит сосуд с нейтральной жидкостью на два объема, с соответствующими температурами. С помощью двух термомет-

ров 5 постоянно ведется наблюдение, чтобы температуры T_1 и T_2 обеих половинок не менялись, т. е. оставались постоянными каждая в своей части сосуда.

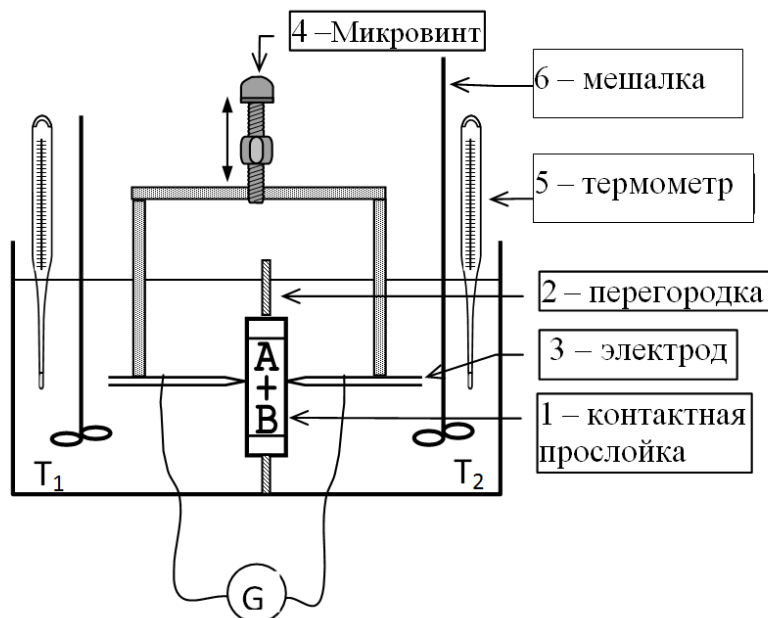


Рисунок 1. Схема установки для определения $C(x)$ способом термо-ЭДС
Figure 1. Scheme of the installation for determining $C(x)$ by the thermo-EMF method

Медные электроды 3 находятся в контакте с образцами строго в одной плоскости и соединены с гальванометром G. С помощью микрометрической подачи 4 они могут перемещаться вдоль диффузионной зоны, и отмечается расстояние, на которое передвигаются щупы электродов. Микровинт изготовлен на основе микрометра.

При сопоставлении зависимости $\varepsilon = \varepsilon(x)$ с эталонным образцом $\varepsilon = \varepsilon(C)$ строится зависимость $C(x)$. Погрешность составляет около 1-2%.

Достоинством данного способа является его простота и возобновимость, потому что образец не распадается.

К недостатку метода, видимо, стоит отнести трудоемкость проведения эксперимента: создание двух отличающихся по температуре емкостей, построение отдельным способом эталонов зависимости ЭДС от концентрации $\varepsilon(C)$, соответствующих зоне диффузии.

Метод вторичного плавления [9]. Суть его заключается в повторном плавлении шлифа, изготовленного из контактной прослойки, полученной при условии, когда тем-

пература опыта превышает температуру эвтектики.

На рисунке 2 приводится схематическая картина повторного плавления. Шлиф диффузионной зоны помещают в термостат при температуре ниже температуры эвтектики ($T_{эвт}$) и фиксируют состояние его поверхности. Затем повышают ее до эвтектической: зона переходит в жидкое состояние. Ступенчато повышая температуру термостата на 1°C , следят за границей жидкость – твердая часть прослойки. Повышение температуры приводит к расплавлению слоев с соответствующими ликвидусными концентрациями. Местоположение выплавившегося слоя фиксируется с помощью микроскопа. При достижении термостата температуры опыта полученная прослойка диффузионной зоны полностью расплавится.

Таким образом, зная концентрацию компонентов в каждом расплавленном слое и их местоположение, можно построить график зависимости $C(x)$.

К недостаткам рассматриваемого метода можно отнести его применимость в основ-

ном к системам, эвтектическая точка которых на диаграмме состояния близка к температуре плавления наиболее легкоплавкого компонента, что связано с тем, что образующийся жидкий слой натекает на нижние

части исследуемой диффузионной зоны. Т. е. данный способ не позволяет с достаточной точностью строить $C(x)$ той части контактной прослойки, которая расположена ниже эвтектического слоя.

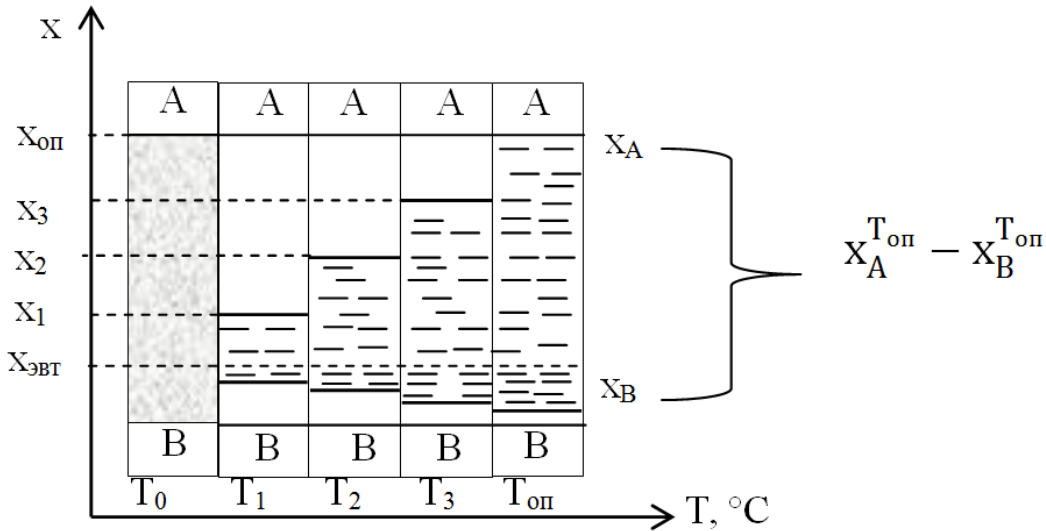


Рисунок 2. Схематическая картина вторичного плавления в системе А–В
Figure 2. Schematic representation of secondary melting in the A–B system

В тех случаях, когда исследуются образцы, в которых эвтектика расположена близко к центру диффузионной зоны, указанный недостаток в определенном смысле уменьшается и позволяет определить $C(x)$ в нижней части контактной прослойки.

Поместив шлиф в термостат, поднимают температуру до эвтектической, при этом прослойка эвтектики плавится, что дает возможность отделить нижнюю часть прослойки. Затем эту часть, закрепив в держателе, опускают в термостат и опять ступенчато поднимают температуру термостата, что позволяет построить $C(x)$ во второй половине диффузионной зоны.

Воспользовавшись указанным подходом, нами была построена $C(x)$ в системе Bi-Sn при температуре 150°C в течение часа (рис. 3).

К достоинствам относится простота проведения эксперимента.

Недостатком указанных выше способов нахождения $C(x)$ распределения является то, что они проводятся в контактных прослойках, находящихся в твердой фазе. Этого недостатка лишен способ, предлагаемый ниже.

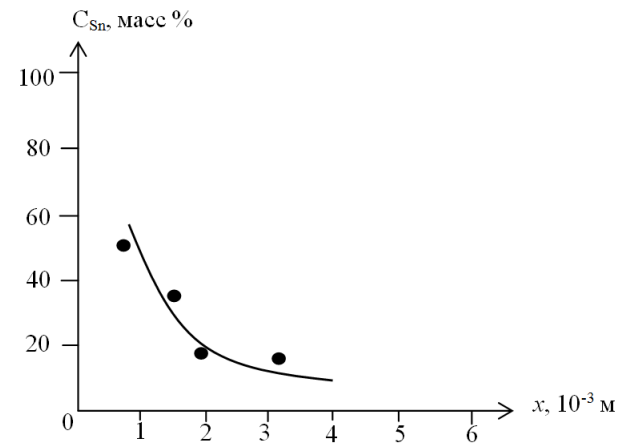


Рисунок 3. $C(x)$ в системе Bi-Sn при температуре 150°C, $\tau = 3600$ с.
Figure 3. $C(x)$ in the Bi-Sn system at 150°C, $\tau = 3600$ s.

Метод отбора жидких слоев [10]. Отличительная особенность данного метода от описанных выше состоит в том, что исследуются слои, извлеченные непосредственно из жидкой диффузионной зоны с помощью специального держателя. Основной частью держателя являются пластины, собранные в шахматном по-

рядке с отверстиями, равными диаметру исследуемой диффузионной зоны (рис. 4).

Полученные таким образом навески сплава $A+B$ можно анализировать химическими, физическими, рентгенографическими или другими методами.

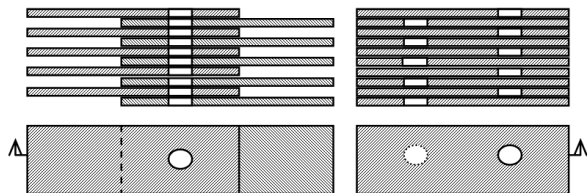


Рисунок 4. Схема расположения пластин в держателе

Figure 4. The layout of the plates in the holder

К достоинствам описываемого метода, как отмечено выше, относится возможность проведения анализа в жидкой контактной прослойке.

В данном способе затруднение вызывает анализ слоя, соответствующего данной координате.

Одним из возможных вариантов определения концентрации в слое является метод повторного плавления данной навески в жидком состоянии с одним из чистых компонентов, участвующим в КП.

Температура термостата поддерживалась ниже температуры плавления чистого компонента, но выше ликвидусной температуры анализируемого сплава $A+B$. Таким образом, в начальный момент времени чистый компонент находится в твердом состоянии, а анализируемая навеска – в жидком.

Жидкая навеска контактирует с одним из чистых компонентов, находящимся в твердом состоянии. Задав определенную температуру термостата, опыт проводят до прекращения движения границы жидкость – твердое, что соответствует термодинамическому равновесию и соответствию концентрации в расплаве ликвидусной на диаграмме состояния.

Для уменьшения времени достижения равновесия в качестве подложки выбирается менее плотное вещество (развивается конвекция).

Зная массу m анализируемой навески, концентрацию жидкости, соответствующую ликвидусной на диаграмме состояния при задан-

ной температуре термостата, и высоту h расплавленной части чистого компонента, можно определить искомую концентрацию.

Воспользовавшись определением понятия концентрации, запишем:

$$C_A = \frac{C_L(M + m)}{m}, \quad (1)$$

где:

C_A – искомая концентрация в весовых долях,

C_L – весовая доля A , соответствующая ликвидусу на диаграмме плавкости при температуре опыта,

M – масса расплавленной части твердого компонента.

$$m = m_A + m_B, \quad (2)$$

где:

m_A и m_B – массы компонентов A и B в навеске.

Численное значение M подсчитывалось по формуле:

$$M = \rho V = \rho h S = \rho h \frac{\pi d^2}{4}, \quad (3)$$

где:

ρ , V , d , S , h – соответственно плотность, объем, диаметр, площадь основания и высота выплавившейся части чистого образца.

В формуле (1), подставляя (2) и (3), получим:

$$C_A = \frac{C_L \left[\rho h \frac{\pi d^2}{4} + (m_A + m_B) \right]}{m_A + m_B}. \quad (4)$$

Метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) [11]. Одним из чувствительных методов изучения фазового состава и распределения компонентов в диффузионных зонах является РФЭС. Указанным методом удалось обнаружить наличие примесей In в сплаве $Bi - (Sn + 3 \text{ ат. \% } In)$.

Обнаружено увеличение концентрации In более чем в 2 раза в приконтактной области чистого Bi по сравнению с концентрацией, содержащейся в контактируемом твердом растворе ($Sn + 3 \text{ ат. \% } In$), что характерно для бестокового и замедляющего вариантов опытов, отраженных на рисунках 5 и 6.

Из рисунков 5 и 6 видно значительное изменение In у границы с Bi . Также из рисунков просматривается высокая чувствительность, что является достоинством данного метода.

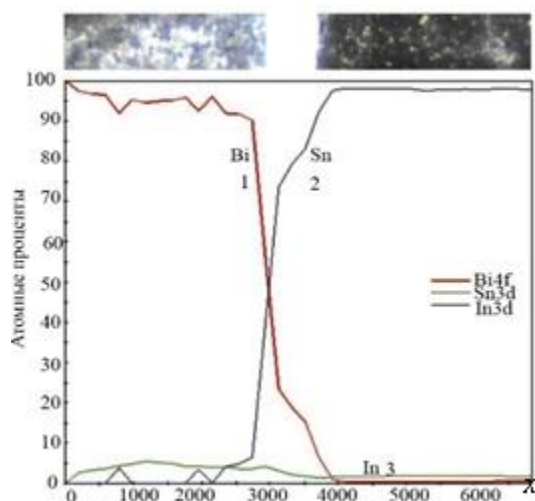


Рисунок 5. Распределение $C(x)$
Figure 5. Distribution $C(x)$

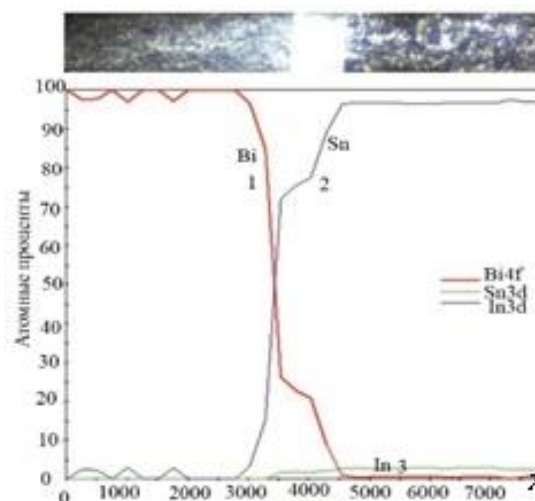


Рисунок 6. Распределение $C(x)$
Figure 6. Distribution $C(x)$

Недостатком РФЭС является также, как и в первых 3 методах, описанных выше, то, что исследование $C(x)$ проводится в твердофазных диффузионных зонах.

Выводы. 1. Контактное плавление является доступным методом в экспериментальном осуществлении, дающее возможность исследовать диффузию в бинарных жидких растворах без влияния конвективного движения.

2. Существующие методы исследования изменения концентрации в диффузионных

зонах, полученные при контактном плавлении, требуют дальнейшего совершенствования: необходима разработка метода построения $C(x)$ непосредственно в процессе протекания контактного плавления с использованием лазерного или рентгеновского лучей.

3. Наиболее востребованным из разработанных методов построения $C(x)$ к настоящему времени является метод снятия слоев непосредственно с жидкой контактной прослойки.

Список литературы

1. Саратовкин Д. Д., Савинцев П. А. Образование жидкой фазы в месте контакта двух кристаллов, составляющих эвтектическую пару // Доклады АН СССР. Физическая химия. 1941. Т. 33. № 4. С. 303–304.
2. Kamal V., Goudo E.S. Effekt of rapid solidification on structure and properties of some lead – free solden alloy // *Materials and Manufacturing Process*. 2006. V. 21. Pp. 736–740.
3. Рогов В. И., Ахкубеков А. А. Исследование диффузии в системах с явно неаддитивной плотностью // *Физика межфазных явлений*. Нальчик, 1977. С. 135–139.
4. Савинцев С. П., Ахкубеков А. А. Использование контактного плавления для определения коэффициентов взаимной диффузии в расплавах бинарных систем // *Заводская лаборатория*. 1981. Т. 47. № 3. С. 30–33.
5. Михайлюк А. Г., Шебзухов А. А., Савинцев П. А. Кинетика контактного плавления в нестационарно-диффузионном режиме // *Известия вузов СССР: Физика*. 1970. № 12. С. 13–17.
6. Ахкубекова С. Н. Найда А. А. О взаимодействии разнородных металлов, приводящем к контактному плавлению // *Современные наукоемкие технологии*. 2013. № 6. С. 46–48.
7. Ахкубеков А. А., Рогов В. И., Савинцев П. А. Направленная кристаллизация контактной прослойки // *Рост и дефекты металлических кристаллов*. Киев: Наукова думка, 1972. С. 379–382.
8. Ахкубеков А. А., Орквасов Т. А., Созаев В. А. Контактное плавление металлов и наноструктур на их основе. Москва: Физматлит. 2008. 152 с.
9. Авторское свидетельство СССР, № 371481, М. Кл G 01n 13/00. Способ измерения концентрационного распределения компонентов в диффузионной зоне / П. А. Савинцев, А. А. Ахкубеков, В. И. Рогов и др. № 1454235/26-25; заявл. 06.07.1970; опубл. 22.11.1973. Бюл. № 12. 2 с.

10. Ахкубеков А. А., Ахкубекова С. Н., Зубхаджиев М.-А. В., Камболов Д. А., Созаев В. А. Процессы взаимной диффузии компонентов, образующих эвтектики. Владикавказ, 2016. 208 с.
11. Ахкубеков А. А., Ахкубекова С. Н., Узденов Э. М. Фазовый состав и распределение компонентов в иконтактных прослойках при наличии электропереноса в системе Bi – (Sn + 3 ат. % In) // Известия КБГУ. 2022. Т. XII. № 4. С. 20–25.

References

1. Saratovkin D.D., Savintsev P.A. Formation of a liquid phase at the point of contact of two crystals constituting a eutectic pair. *Doklady AN SSSR. Fizicheskaya khimiya*. 1941;33(4):303–304. (In Russ.)
2. Kamal V., Goudo E.S. Effekt of rapid solidification on structure and properties of some lead – free solden alloy. *Materiales and Manufacturing Process*. 2006;V(21):736–740.
3. Rogov V.I., Akhkubekov A.A. Investigation of diffusion in systems with clearly non-additive density. *Fizika mezhfaznykh yavleniy* [Physics of interfacial phenomena]. Nalchik, 1977. Pp. 135–139. (In Russ.)
4. Savintsev S P., Akhkubekov A.A. The use of contact melting to determine the coefficients of mutual diffusion in melts of binary systems. *Zavodskaya laboratoriya*. 1981;47(3):30–33. (In Russ.)
5. Mikhaylyuk A.G., Shebzukhov A.A., Savintsev P.A. Kinetics of contact melting in non-stationary-diffusion mode. *Izvestiya vuzov SSSR: Fizika*. 1970;(12):13–17. (In Russ.)
6. Akhkubekova S.N. Nayda A.A. On the interaction of dissimilar metals leading to contact melting. *Modern high technologies* . 2013;(6):46–48. (In Russ.)
7. Akhkubekov A.A., Rogov V.I., Savintsev P.A. *Napravlennoy kristallizatsiya kontaktnoy prosloyki* [Directional crystallization of the contact layer]. *Rost i defekty metallicheskih kristallov* [Growth and defects of metallic crystals]. Kyiv: *Naukova Dumka*, 1972. Pp. 379–382. (In Russ.)
8. Akhkubekov A.A., Orkvasov T.A., Sozayev V.A. *Kontaktnoye plavleniye metallov i nanostruktur na ikh osnove* [Contact melting of metals and nanostructures based on them]. Moscow: Fizmatlit, 2008. 152 p. (In Russ.)
9. Author's certificate of the USSR, No. 371481, M.Kl G 01n 13/00. Method for measuring the concentration distribution of components in the diffusion zone. P.A. Savintsev, A.A. Akhkubekov, V. I. Rogov [et al.]. No. 1454235/26-25; dec. 07.06.1970; publ. 11.22.1973. Bull. No 12. 2 p. (In Russ.)
10. Akhkubekov A.A., Akhkubekova S.N., Zubkhadzhiyev M.-A.V., Kambolov D.A., Sozayev V.A. *Protsessy vzaimnoy diffuzii komponentov, obrazuyushchikh evtektiki* [Processes of mutual diffusion of components forming eutectics]. Vladikavkaz, 2016. 208 p. (In Russ.)
11. Akhkubekov A.A., Akhkubekova S.N., Uzdenov E.M. Phase composition and distribution of components in contact interlayers in the presence of electrotransfer in the Bi – (Sn + 3 ат. % In) system. *Proceedings of the Kabardino-Balkarian State University*. 2022;XII(4):20–25. (In Russ.)

Сведения об авторе

Ахкубекова Светлана Наниевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 2374-8470, Author ID: 123947, Scopus ID: 23984116200, Researcher ID: HMP – 5402-2023

Information about of author

Svetlana N. Ahkubekova – Candidate of Physic-Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-код: 2374-8470, Author ID: 123947, Scopus ID: 23984116200, Researcher ID: HMP – 5402-2023

Статья поступила в редакцию 21.02.2023;
одобрена после рецензирования 06.03.2023;
принята к публикации 16.03.2023.

The article was submitted 21.02.2023;
approved after reviewing 06.03.2023;
accepted for publication 16.03.2023.