

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СМЕНЫ ТИПА ТРЕХФАЗНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В СИСТЕМЕ Ti-Ir-Ru

В.И. Луцык, В.П. Воробьева

Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ

Построена компьютерная модель Т-х-у диаграммы системы Ti-Ir-Ru, которая состоит из 75-ти поверхностей и 32-х фазовых областей. Для обнаруженного ранее экспериментально изменения типа трехфазного превращения определены температурные и концентрационные границы эвтектического и перитектического фрагментов. Выявлены эффекты смены типа фазовых превращений еще в двух трехфазных областях с расплавом и во всех трехфазных областях в субсолидусе.

Ключевые слова: Титан, иридий, рутений, эвтектико-перитектическое превращение, эвтектико-перитектоидное превращение, фазовая диаграмма

Computer model of the T-x-y diagram of system Ti-Ir-Ru which consists of 75 surfaces and 32 phase regions is constructed. For the 3-phase region with phase reaction type change, known from experimental investigation, temperature and concentration conditions for eutectic and peritectic fragments are defined. Additional effects of phase transformation type change in two three-phase regions with melt and in all three-phase regions in subsolidus are revealed.

Key words: Titanium, iridium, ruthenium, eutectic-peritectic transformation, eutectoid-peritectoid transformation, phase diagram

Введение

При компьютерном конструировании материалов необходимо улавливать нюансы формирования микроструктуры. К ним относится и смена типа трехфазного превращения. Ранее были выявлены противоречия в существовавших способах определения температурно-концентрационных условий изменения типов трехфазных превращений [1-4] и разработаны алгоритмы расчета и отображения вертикальных (для заданного состава) и горизонтальных (для изотерм на вертикальных разрезах) материальных балансов для анализа условий смены эвтектического превращения на перитектическое, эвтектоидного на перитектоидное, монотектического на синтектическое, и наоборот [5].

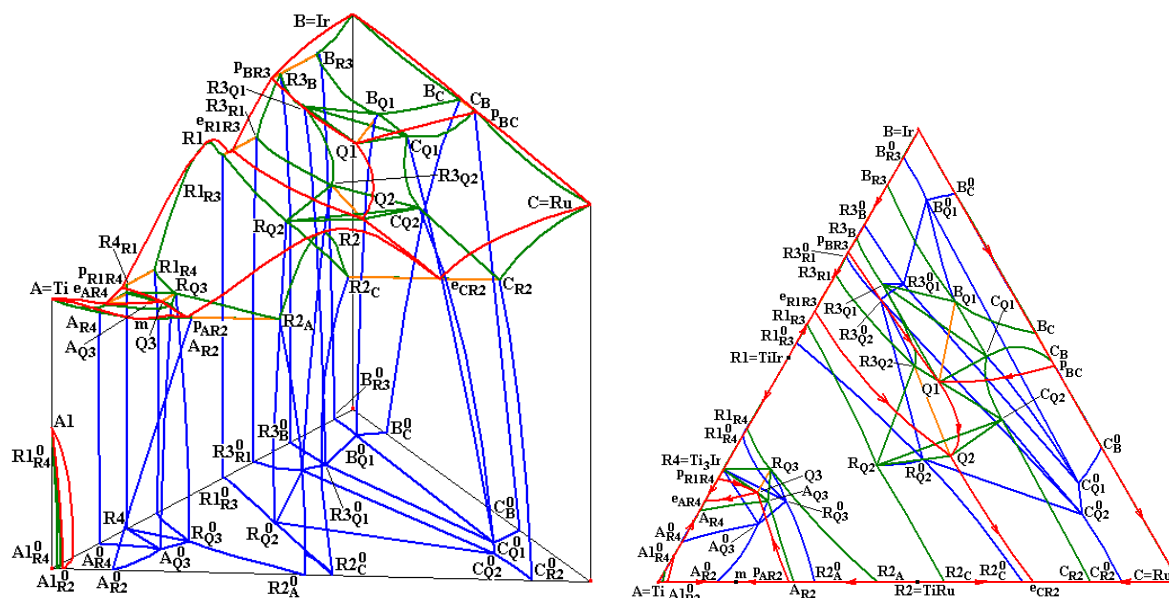


Рис. 1. Т-х-у диаграмма Ti-Ir-Ru с соединениями $R1=TiIr=\delta=R$, $R2=TiRu=\delta=R$ ($R1$ и $R2$ образуют непрерывный твердый раствор), $R3=TiIr_3=\epsilon$, $R4=Ti_3Ir=\gamma$ и ее х-у проекция

В системах Zr-Ru-Ir [6] и Ti-Ir-Ru [7] обнаружены трехфазные области со сменой знака приращения массы одной из материальных точек. Так, в системе Ti-Ir-Ru эвтектическая реакция $L \rightarrow \epsilon + Ru$ ($\epsilon=TiIr_3$) меняется на перитектическую $L + \epsilon \rightarrow Ru$ [7]. Более подробную информацию о таких процессах дает компьютерная модель Т-х-у диаграммы, построенная по экспертным данным [7-8] (рис. 1).

Компьютерная модель Т-х-у диаграммы Ti-Ir-Ru

Для расшифровки геометрического строения и компактного описания Т-х-у диаграммы удобно использовать схемы моновариантных состояний (трехфазных областей), полученные приписыванием траекторий изменения составов фаз к записям трехфазных превращений в традиционных табулированных схемах реакций [9]. Они позволяют прогнозировать геометрическую структуру диаграммы и рассчитывать количество фазовых областей и поверхностей с указанием их типа (горизонтальные и вертикальные плоскости, линейчатые и нелинейчатые поверхности).

Таблица 1. Схема моновариантных состояний (трехфазных областей) системы Ti-Ir-Ru с температурным рядом (рис. 1)

$T(B > p_{BC} > C > p_{BR3} > R1=R2^* > Q1 > e_{R1R3} > Q2 > e_{CR2} > A > p_{AR2} > p_{R1R4} > Q3 > e_{AR4} > A1)^{**}$			
A-B	A-B-C	B-C	A-C
$L+B \rightarrow R3$ $p_{BR3}Q1, B_{R3}B_{Q1},$ $R3_B R3_{Q1}$	$Q1: L+B \rightarrow C+R3$ $L+C+R3 (L+R3 \rightarrow C)$ $Q1Q2, C_{Q1}C_{Q2}, R3_{Q1}R3_{Q2}$	$L+B \rightarrow C$ $p_{BC}Q1, B_C B_{Q1},$ $C_B C_{Q1}$	$B+C+R3$ $B_{Q1}B_{Q1}^0, C_{Q1}C_{Q1}^0,$ $R3_{Q1}R3_{Q1}^0$
$L \rightarrow R1+R3$ $e_{R1R3}Q2, R1_{R3}R_{Q2},$ $R3_{R1}R3_{Q2}$	$Q2: L+R3 \rightarrow C+R1(R2)$ $C+R+R3$ $C_{Q2}C_{Q2}^0, R_{Q2}R_{Q2}^0, R3_{Q2}R3_{Q2}^0$	$L \rightarrow C+R2$ $Q2e_{CR2}, C_{Q2}C_{R2},$ $R2_{Q2}R2_C$	$L+A \rightarrow R$ $(L \rightarrow A+R)$ $p_{AR2}Q3, R2_A R2_{Q3},$ $A_{R2}A_{Q3}$
$L+R4 \rightarrow R$ $(L \rightarrow R+R4)$ $p_{R1R4}Q3, R1_{R4}R_{Q3},$ $R4_{R1}R4_{Q3}$	$Q3: L+R \rightarrow A+R4$ $A+R+R4$ $A_{Q3}A_{Q3}^0, R_{Q3}R_{Q3}^0, R4_{Q3}R4_{Q3}^0$		
$L \rightarrow A+R4$ $Q3e_{AR4}, A_{Q3}A_{R4},$ $R4_{Q3}R4_A$			

* Бинарные соединения R1 и R2 образуют твердый раствор $R=R1(R2)$

** Курсивом выделены трехфазные области со сменой типа фазового превращения

Согласно такой схеме (табл. 1) для системы Ti-Ir-Ru, ее Т-х-у диаграмма состоит из 75-ти поверхностей, куда входят по 6 сопряженных поверхностей ликвидуса и сольвуса, 16 сольвусов, две поверхности трансуса, между которыми сосуществуют две полиморфные модификации титана ($A+A1$), 33 линейчатые поверхности и 3 инвариантных комплекса, каждый из которых разбивается на 4 симплекса. Поверхности ограничивают 32 фазовые области, в том числе 6 двухфазных с расплавом $L+I$ ($I=A, B, C, R, R3, R4$), 6 однофазных I , 8 трехфазных с расплавом $L+I+J$, 8 двухфазных $I+J$, аллотропная двухфазная область $A+A1$ и три субсолидусные области $I+J+K$.

Смена знака приращения массы одной из материальных точек трехфазной области

В области $L+\alpha+\beta$ возможны реакции $L \rightarrow \alpha+\beta$, $L+\beta \rightarrow \alpha$, $L+\alpha \rightarrow \beta$, в которых знак приращения доли жидкой фазы $\Delta m_L < 0$ неизменен, а знаки Δm_α и Δm_β зависят от типа реакции и могут измениться в процессе кристаллизации. Необходимо определить соответствующие фазовым реакциям концентрационные и температурные границы.

Для тех составов (центров масс) G трехфазной области T - z_1 - z_2 диаграммы с $T_e > T_p$ (рис. 2, а), в которых наблюдается переход от реакции $L \rightarrow \alpha + \beta$ к реакции $L + \beta \rightarrow \alpha$, знак приращения массы Δm_β меняется с положительного на отрицательный. При смене знака Δm_β трехфазное превращение становится двухфазным $L \rightarrow \alpha$ (в присутствии индифферентной третьей фазы β).

Два состояния центра масс $G(g_1, g_2, g_3)$ при температурах T_1 и T_2 характеризуют неизменные исходные координаты: $g_i = \alpha_{1i}m_{\alpha 1} + \beta_{1i}m_{\beta 1} + L_{1i}m_{L1} = \alpha_{2i}m_{\alpha 2} + \beta_{2i}m_{\beta 2} + L_{2i}m_{L2}$, $i=1,3$, выражаемые через конодные треугольники $\alpha_1\beta_1L_1$ при T_1 : $\alpha_1(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{13})$, $\beta_1(\beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{13})$, $L_1(L_{11}, L_{12}, L_{13})$ и $\alpha_2\beta_2L_2$ при T_2 : $\alpha_2(\alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{23})$, $\beta_2(\beta_{21}, \beta_{22}, \beta_{23})$, $L_2(L_{21}, L_{22}, L_{23})$ (рис. 2, б). Так как $m_{L1} + m_{\alpha 1} + m_{\beta 1} = 1$ и $m_{L2} + m_{\alpha 2} + m_{\beta 2} = 1$, то массовые доли фаз, на которые раскладывается центр масс G , преобразуются в:

$$\begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \beta_{11} & L_{11} \\ \alpha_{12} & \beta_{12} & L_{12} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_{\alpha 1} \\ m_{\beta 1} \\ 1 - m_{\alpha 1} - m_{\beta 1} \end{pmatrix} \text{ и } \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{21} & \beta_{21} & L_{21} \\ \alpha_{22} & \beta_{22} & L_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_{\alpha 2} \\ m_{\beta 2} \\ 1 - m_{\alpha 2} - m_{\beta 2} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

откуда
$$m_{\alpha 1} = \frac{(g_1 - L_{11})(\beta_{12} - L_{12}) - (g_2 - L_{12})(\beta_{11} - L_{11})}{d_1}, \quad (2)$$

$$m_{\alpha 2} = \frac{(g_1 - L_{21})(\beta_{22} - L_{22}) - (g_2 - L_{22})(\beta_{21} - L_{21})}{d_2}, \quad (3)$$

$$m_{\beta 1} = \frac{(\alpha_{11} - L_{11})(g_2 - L_{12}) - (\alpha_{12} - L_{12})(g_1 - L_{11})}{d_1}, \quad (4)$$

$$m_{\beta 2} = \frac{(\alpha_{21} - L_{21})(g_2 - L_{22}) - (\alpha_{22} - L_{22})(g_1 - L_{21})}{d_2}, \quad (5)$$

где $d_1 = (\alpha_{11} - L_{11})(\beta_{12} - L_{12}) - (\alpha_{12} - L_{12})(\beta_{11} - L_{11})$, $d_2 = (\alpha_{21} - L_{21})(\beta_{22} - L_{22}) - (\alpha_{22} - L_{22})(\beta_{21} - L_{21})$.

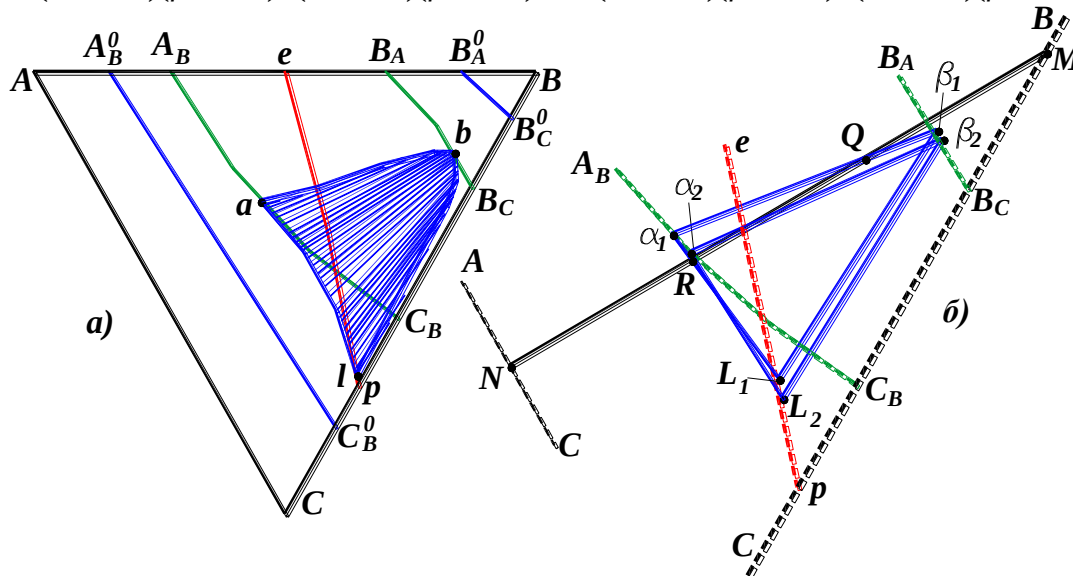


Рис. 2. Концентрационная проекция поверхности $\Delta m_\beta = 0$ (а) и расчет образующего ее отрезка RQ через конодные треугольники $\alpha_1\beta_1L_1$ при T_1 и $\alpha_2\beta_2L_2$ при T_2 (б)

Если в составе G при температуре T_1 происходит смена знака приращения фазы β , то условие $\Delta m_\beta = m_{\beta 1} - m_{\beta 2} = 0$ с помощью выражений (4) и (5) приводит к уравнению

$$b_1g_1 + b_2g_2 + b_3 = 0, \quad (6)$$

в котором $b_1 = (\alpha_{22} - L_{22})/d_2 - (\alpha_{12} - L_{12})/d_1$, $b_2 = (\alpha_{11} - L_{11})/d_1 - (\alpha_{21} - L_{21})/d_2$,

$b_3 = (L_{11}\alpha_{12} - L_{12}\alpha_{11})/d_1 + (L_{22}\alpha_{21} - L_{21}\alpha_{22})/d_2$. (Аналогичные (6) выражения можно получить и для других пар координат: g_1 - g_3 и g_2 - g_3).

Уравнение (6) описывает горизонтальную прямую при T_1 , но физический смысл имеет только та ее часть, которая принадлежит трехфазной области. Формально при $g_1=0$ эта прямая пересекает сторону BC в точке $M(0, -b_3/b_2, 1+b_3/b_2)$, при $g_2=0$ - сторону AC в точке $N(-b_3/b_1, 0, 1+b_3/b_1)$. Отрезок MN пересекает две из трех сторон треугольника $\alpha_1\beta_1L_1$ в точках $R=\alpha_1L_1\cap MN$ и $Q=\alpha_1\beta_1\cap MN$ (или $S=\beta_1L_1\cap MN$). Из полученных отрезков RQ (RS) формируется линейчатая поверхность двухфазной реакции abl (поверхность смены знака приращения массы фазы β). Она разбивает область $L+\alpha+\beta$ на эвтектическую ($\Delta m_\alpha > 0, \Delta m_\beta > 0$) и перитектическую ($\Delta m_\alpha > 0, \Delta m_\beta < 0$) части (рис. 2, а).

При подстановке в уравнение (6) координат α_{11} и α_{12} вершины α_1 конодного треугольника отрезок RQ стягивается в точку а, которая принадлежит кривой $A_B C_B$ при температуре T_α . При аналогичной подстановке координат L_{11} , L_{12} и β_{11} , β_{12} отрезки RQ (или RS) тоже превращаются в соответствующие точки: $l \in \epsilon_r$ при T_L и $b \in B_A B_C$ при T_β . Эти три важные для трехфазной области точки определяют температурные границы смены знака Δm_β . При T_α конодный отрезок $\alpha_1 L_1$ сливается с касательной к $A_B C_B$ в точке а, при T_L - совпадает с касательной к ϵ_r в точке l, при T_β - становится параллельным касательной к $B_A B_C$ в точке b.

При анализе условий $\Delta m_\alpha = m_{\alpha 1} - m_{\alpha 2} = 0$ выражения (2) и (3) приводят к уравнению:

$$a_1 g_1 + a_2 g_2 + a_3 = 0, \quad (7)$$

где $a_1 = (\beta_{12} - L_{12})/d_1 - (\beta_{22} - L_{22})/d_2$, $a_2 = (\beta_{21} - L_{21})/d_2 - (\beta_{11} - L_{11})/d_1$,
 $a_3 = (L_{12}\beta_{11} - L_{11}\beta_{12})/d_1 + (L_{21}\beta_{22} - L_{22}\beta_{21})/d_2$.

С помощью этого уравнения можно построить образующие отрезки и сформировать из них поверхность $\Delta m_\alpha = 0$, соответствующую двухфазному превращению $L \rightarrow \beta$ в присутствии фазы α . Оценить границы поверхности можно подстановкой в (7) вместо g_i координат β_{1i} , L_{1i} , α_{1i} вершин соответствующего конодного треугольника $\alpha_1\beta_1L_1$. В результате на линиях $B_A B_C$, ϵ_r и $A_B C_B$ будут зафиксированы предельные положения поверхности двухфазной реакции при таких температурах, когда конодный отрезок $\beta_1 L_1$: 1) совпадает с касательной к $B_A B_C$, 2) сливается с касательной к ϵ_r , 3) параллелен касательной к $A_B C_B$. Если отрезки $M(0, -a_3/a_2, 1+a_3/a_2)N(-a_3/a_1, 0, 1+a_3/a_1)$ не пересекают ни один из конодных треугольников $\alpha_i\beta_iL_i$, значит поверхность $\Delta m_\alpha = 0$ для конкретной трехфазной области физического смысла не имеет.

В некоторых типах фазовых диаграмм кривизна направляющих линий и ориентация образующих отрезков могут быть таковыми, что физический смысл имеют обе поверхности двухфазной реакции: $\Delta m_\alpha = 0$ и $\Delta m_\beta = 0$. Тогда эти поверхности разбивают фазовую область не на два, а на три фрагмента: два перитектических ($\Delta m_\alpha < 0, \Delta m_\beta > 0$) и ($\Delta m_\alpha > 0, \Delta m_\beta < 0$) и эвтектический ($\Delta m_\alpha > 0, \Delta m_\beta > 0$) между ними.

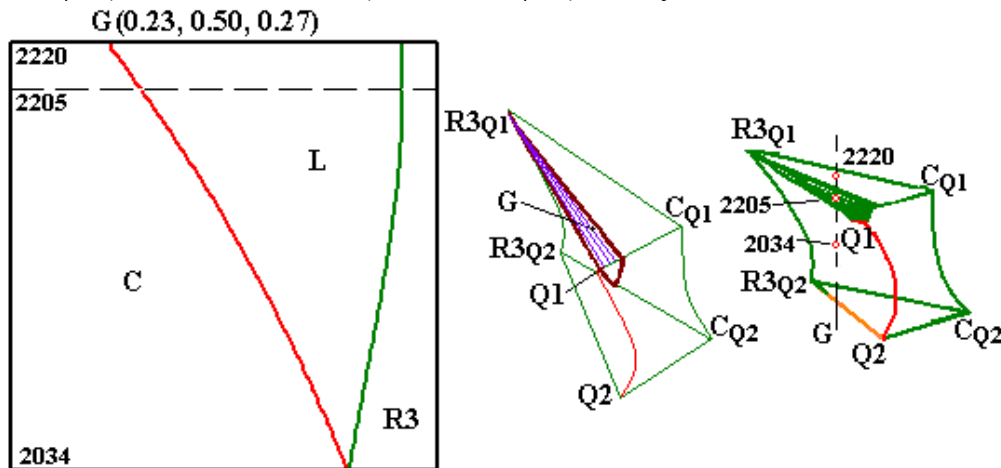


Рис. 3. Смена реакции $L+\epsilon \rightarrow Ru$ на $L \rightarrow Ru+\epsilon$ в сплаве G при $\Delta m_{R3}=0$ (2202.5°C)

Трехфазные области со сменой типа реакции в системе диаграммы Ti-Ir-Ru

Согласно компьютерной модели (рис. 1) и вертикальному матбалансу (рис. 3) в сплаве G с координатами $z_1=0,23$, $z_2=0,50$ и $z_3=0,27$ нулевому приращению массовой доли пассивной в этот момент фазы R3 соответствует двухфазная поверхность $L \rightarrow C$, существующая в интервале 2187-2220°C.

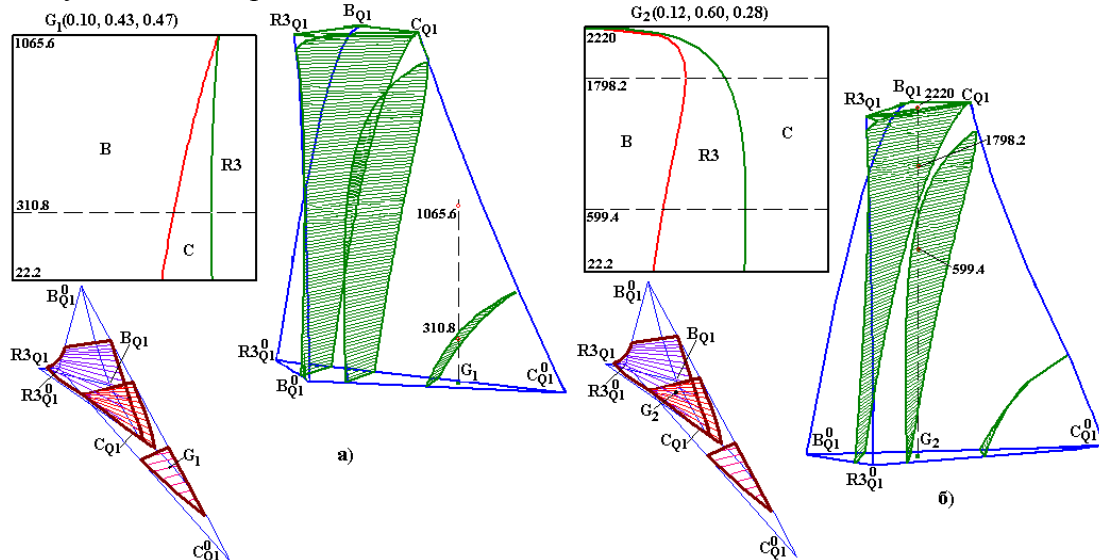


Рис. 4. Смена реакций: с $B \rightarrow C + R3$ ($Ir \rightarrow Ru + \epsilon$) на $B + R3 \rightarrow C$ (сплав G_1 , $\Delta m_{R3}=0$) (а) и с $C \rightarrow B + R3$ на $B + C \rightarrow R3$, а затем на $B \rightarrow C + R3$ (сплав G_2 , $\Delta m_B=0$ и $\Delta m_C=0$) (б)

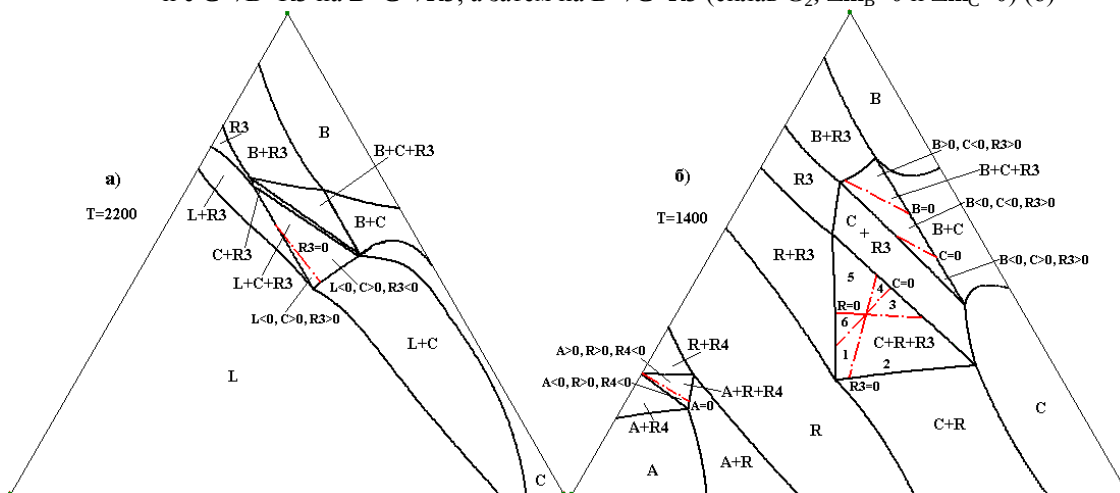


Рис. 5. Разрезы $T_{Q2} < T = 2200^\circ < T_{Q1}$ и $T = 1400^\circ < T_{Q3}$ (в области $C + R + R3$: 1 - $C > 0$, $R < 0$, $R3 > 0$; 2 - $C > 0$, $R < 0$, $R3 < 0$; 3 - $C > 0$, $R > 0$, $R3 < 0$; 4 - $C < 0$, $R > 0$, $R3 < 0$; 5 - $C < 0$, $R > 0$, $R3 > 0$; 6 - $C < 0$, $R < 0$, $R3 > 0$; не показан переход II рода с областью $\delta + \delta'$)

Также изменяются типы реакций с $L + R4 \rightarrow R$ ($L + \gamma \rightarrow \delta$) на $L \rightarrow R + R4$ ($L \rightarrow \delta + \gamma$) и с $L + A \rightarrow R$ ($L + Ti \rightarrow \delta$) на $L \rightarrow A + R$ ($L \rightarrow Ti + \delta$). С помощью компьютерной модели определены температурные границы существования поверхностей двухфазных реакций: $\Delta m_A=0$ в области $L + A + R$ в интервале $1465^\circ C = T_{Q3} < T < 1552^\circ C$ и $\Delta m_{R3}=0$ в области $L + R + R4$ при температурах $1465^\circ C = T_{Q2} < T < 1497^\circ C$.

Смена типа реакции имеет место и во всех трех субсолидных трехфазных областях. Реакция $A + R4 \rightarrow R$ ($Ti + \gamma \rightarrow \delta$) сменяется реакцией $R4 \rightarrow A + R$ ($\gamma \rightarrow Ti + \delta$). Область $B + C + R3$ ($Ir + Ru + \epsilon$) разбивается тремя поверхностями двухфазных реакций на 4 части. Справа идет реакция $B + R3 \rightarrow C$ ($Ir + \epsilon \rightarrow Ru$), в соседней - $B \rightarrow C + R3$ ($Ir \rightarrow Ru + \epsilon$), далее - $B + C \rightarrow R3$ ($Ir + Ru \rightarrow \epsilon$) и затем - $C \rightarrow B + R3$ ($Ru \rightarrow Ir + \epsilon$). Поверхность $\Delta m_{R3}=0$ смены реак-

ции $B \rightarrow C + R_3$ ($Ir \rightarrow Ru + \epsilon$) на $B + R_3 \rightarrow C$ ($Ir + \epsilon \rightarrow Ru$) располагается ниже изотермы 1400°C (рис. 4,б). Область $C + R + R_3$ ($Ru + \delta + \epsilon$) обладает тоже тремя поверхностями двухфазных реакций $\Delta m_C = 0$, $\Delta m_R = 0$ и $\Delta m_{R_3} = 0$, но они разбивают ее не на 4, а на 6 фрагментов, так что в трех из них выполняются эвтектоидные реакции, а между ними – перитектоидные.

Следы поверхностей двухфазных реакций присутствуют на изо- и политермических разрезах, как, например, на изотерме 1400°C (рис. 5,б). Штриховыми линиями показано, как сечения этих поверхностей разбивают изотермы трехфазных областей на фрагменты с различными знаками приращений массовых долей сосуществующих фаз. Например, на изотерме 1400°C области $B + C + R_3$ присутствуют следы от сечения двух из трех поверхностей двухфазных реакций: $\Delta m_B = 0$ и $\Delta m_C = 0$, а третья поверхность $\Delta m_{R_3} = 0$ находится ниже 1400°C . Изотерма разбивается на три области: в крайних идут эвтектоидные превращения $C \rightarrow B + R_3$ ($\Delta m_B > 0$, $\Delta m_C < 0$, $\Delta m_{R_3} > 0$) и $B \rightarrow C + R_3$ ($\Delta m_B < 0$, $\Delta m_C > 0$, $\Delta m_{R_3} > 0$), а между ними – перитектоидное $B + C \rightarrow R_3$ ($\Delta m_B < 0$, $\Delta m_C < 0$, $\Delta m_{R_3} > 0$). Эта же область на политермическом разрезе следом от сечения поверхности $\Delta m_{R_3} = 0$ разделяется на эвтектоидную $B \rightarrow C + R_3$ ($\Delta m_B < 0$, $\Delta m_C > 0$, $\Delta m_{R_3} > 0$) и перитектоидную $B + R_3 \rightarrow C$ ($\Delta m_B < 0$, $\Delta m_C > 0$, $\Delta m_{R_3} < 0$).

На восстановленных по исходным данным разрезах, например, при 1400°C (рис. 5,б) нет сечений поверхности $\Delta m_{R_3} = 0$ области $L + C + R_3$, потому что она находится в интервале температур $2187^\circ\text{C} < T < 2220^\circ\text{C} = T_{Q1}$. Поэтому построен еще один изотермический разрез при 2200°C , пересекающий поверхность $\Delta m_{R_3} = 0$ (рис. 5,а).

Конструирование структуры гетерогенного материала при смене знака приращения одной из масс трехфазной области

Изменение типа трехфазной реакции с эвтектической на перитектическую со сменой знака приращения массы одной из твердых фаз оказывает влияние на состав формируемой микроструктуры [10].

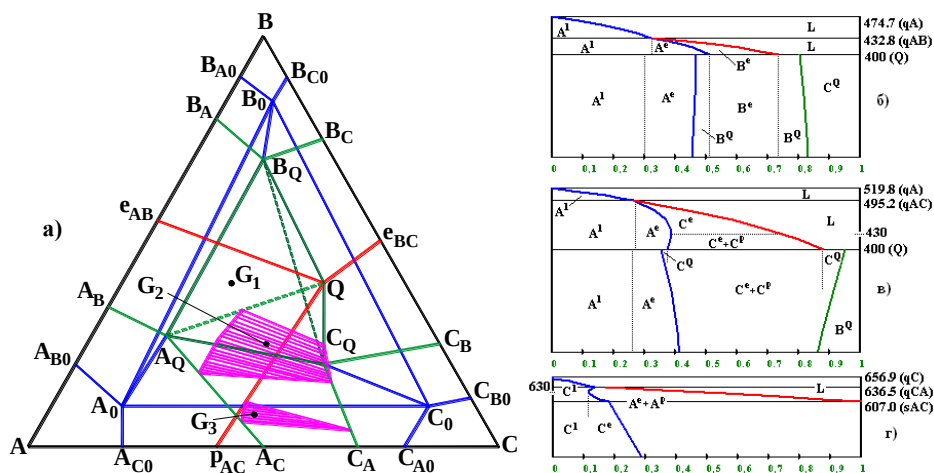


Рис. 6. Система (а) с конкуренцией эвтектических A^e и первичных A^1 кристаллов в реакции $L + A \rightarrow B^Q + C^Q$ (б) и двумя сменами типа трехфазной реакции: $L \rightarrow A^e + C^e$ на $L + A \rightarrow C^P$ (в) и $L + C \rightarrow A^P$ на $L \rightarrow A^e + C^e$ (г)

Смене типа трехфазного превращения соответствуют поверхности (рис. 6,а) двухфазной реакции при индифферентном поведении третьей фазы: $L \rightarrow A$ при $\Delta m_C = 0$ (рис. 6,в) и $L \rightarrow C$ при $\Delta m_A = 0$ (рис. 6,г). В первом случае охлаждаемый расплав G_2 (рис. 6,а) при прохождении трехфазной области сначала участвует в эвтектической реакции $L \rightarrow A^e + C^e$ с выделением двойной эвтектики, а затем ниже температуры 430° выделившиеся до этого кристаллы A^e реагируют с расплавом по перитектической схеме и их

количество убывает, оставляя после себя смесь C^P+C^E . Во втором случае охлаждение расплава G_3 приводит к замене перитектической реакции $L+C \rightarrow A^P$ на эвтектическую, в результате чего в состав субсолидусной смеси входят кристаллы A двойного происхождения: A^P+A^E .

Один и тот же расплав может несколько раз проходить через такие стадии кристаллизации, которые требуют особенно пристального исследования формируемой микроструктуры. Так, например, в центре масс G_2 (рис. 6,а,в) после смены знака моновариантного приращения массы одной из фаз происходит неинвариантная перегруппировка фаз: количество первичных и эвтектических кристаллов A после взаимодействия с расплавом L уменьшается, а в состав затвердевшей гетерогенной смеси к мелкодисперсным образованиям C^P+C^E добавляются продукты неинвариантной перитектической реакции C^Q+B^Q .

Выводы

Компьютерная модель Т-х-у диаграммы может, кроме визуализации проекций и разрезов, фиксировать явления смены типа трехфазного превращения, определять его температурные границы, строить соответствующую поверхность двухфазного превращения. Каждая трехфазная область может иметь от одной до трех поверхностей двухфазных реакций. Следы от сечений этих поверхностей проявляются на изотермах и изоплотах.

Фазовые диаграммы – эффективный инструмент разработки новых материалов. Компьютерные технологии позволяют вести с их помощью дизайн микроструктур многокомпонентных гетерогенных материалов. Им соответствует разбиение фазовых областей на термодинамически неустойчивые фрагменты при проецировании геометрических элементов фазовой диаграммы в направлении концентрационного симплекса.

Литература

1. Lutsyk V.I., Vorob'eva V.P., Zyryanov A.M. Contradictions between 3-phase region eutectical and peritectical fragments borders determination methods in monographs by A.Prince and D.Petrov //J. of Guangdong Non-Ferrous Metals. 2005. Vol. 15. No. 2, 3. P. 174-178.
2. Петров Д.А. Двойные и тройные системы. М.: Металлургия, 1986. 256 с.
3. Hillert M. Criterion for Peritectic and Eutectic Reactions //J. of the Iron and Steel Institute. 1958. Vol. 189. P. 224-226; 1960. Vol. 195. P. 201-204.
4. Халдомяниди К.А. Моделирование взаимных переходов перитектического и эвтектического равновесий в двойных и тройных системах //Журн. физ. химии. 2000. Т. 47, № 10. С. 1761-1764.
5. Lutsyk V.I., Vorob'eva V.P. Domains with the Reaction Type Change in the 3-Phase Regions of the Ternary Salt Systems //Molten Salts. Pennington (New Jersey): Electrochemical Society. Proceedings Volumes. 2004. Vol. 2004-24. P. 141-150.
6. Еременко В.Н., Хоружая В.Г., Штепа Т.Д. Строение сплавов и диаграмма фазовых равновесий системы Zr-Ru-Ir. II. Схема кристаллизации сплавов частичной системы Ru-ZrRu-ZrIr-Ir //Порошковая металлургия. 1985. № 5. С. 51-56.
7. Еременко В.Н., Хоружая В.Г., Штепа Т.Д. Фазовые равновесия в области кристаллизации сплавов системы Ti-Ru-Ir //Порошковая металлургия. 1987. № 11. С. 72-77.
8. Materials Science International Team MSIT, SpringerMaterials - The Landolt-Börnstein Database (http://www.springermaterials.com/docs/info/10916070_53.html).
9. Lutsyk V.I., Vorob'eva V.P., Nasrulin E.R. T-x-y Diagrams with Primary Crystallization Fields of Low-Temperature Modifications //Crystallography Reports. 2009. V. 54. No 7. P. 1289-1299.
10. Луцык В.И., Воробьева В.П. Конструирование структуры гетерогенного материала с инвариантным превращением и сменой знака приращения одной из масс трехфазной области //Перспективные материалы. 2009. № 7. С. 199-203.