

тель и газовые полости первого контура при различных состояниях активной зоны.

Кроме изотопов Na^{24} и Na^{22} в первом контуре были обнаружены следующие продукты деления: Cs^{137} , Cs^{136} , J^{131} , Zr^{95} , Ba^{140} , Ce^{144} , Ru^{106} , а также Ne^{23} , образующийся из Na^{23} по реакции (n, p) . В газовых полостях первого контура кроме изотопов Ar^{41} и Ne^{23} обнаружены газообразные продукты деления: Xe^{133} , Xe^{135} , Xe^{131} , Xe^{138} , Kr^{88} , Kr^{87} , Kr^{85} , а также J^{131} .

В табл. 5 приведены значения активности продуктов деления и продуктов активации натрия в первом контуре реактора БР-5 в различные периоды его работы. Отмечено, что активность J^{131} и Cs^{136} в теплоносителе и на стенках контура, а также активность J^{131} в газе первого

контура становились заметными лишь при значительной разгерметизации элементов. Доля выхода изотопов J^{131} , Zr^{95} , Ba^{140} , Xe^{135} из негерметичных твэлов составляет $10^{-2} - 10^{-3}$, доля выхода изотопов Cs^{137} , Cs^{136} и Xe^{133} — на порядок больше.

Холодная ловушка, предназначенная для очистки натрия от окислов, хорошо улавливает осколки деления, такие, как J^{131} , Cs^{137} , Cs^{136} . При работе контура с включенной ловушкой более 90% активности иода и цезия в контуре переходит в ловушку. Холодная ловушка может улавливать изотопы Zr^{95} и Ba^{140} , но значительно хуже, чем изотопы иода и цезия.

Поступила в Редакцию 12/VI 1967 г.

Диаграммы состояния плутония с металлами групп IIIA, IVA, VIII и IV

В. И. КУТАЙЦЕВ, Н. Т. ЧЕБОТАРЕВ, М. А. АНДРИАНОВ, В. Н. КОНЕВ, И. Г. ЛЕБЕДЕВ,
В. И. БАГРОВА, А. В. БЕЗНОСИКОВА, А. А. КРУГЛОВ, П. Н. ПЕТРОВ,
Е. С. СМОТРИЦКАЯ

УДК 546.799.4:669.824

За последние годы в Советском Союзе, США, Англии и Франции проведены значительные работы в области металловедения плутония и его сплавов. Исследованы структура и свойства сплавов плутония со многими элементами периодической системы и построены соответствующие диаграммы состояния. При исследовании сплавов в наших работах применялись методы металлографического, рентгенографического, дифференциально-термического и dilatометрического анализов. В отдельных случаях определялись магнитные свойства и электропроводность металла и его сплавов.

При изучении сплавов широко использовались микрометоды, позволяющие на образцах весом 10—300 мг получать достаточно точные данные об их структуре и фазовых превращениях.

В тех случаях, когда по условиям опыта микрообразцы не обеспечивали достаточной точности (определение коэффициента термического расширения, электропроводности, опыты с применением высоких давлений), использовали образцы большого веса — порядка нескольких граммов.

Система Pu — Sc. Эта система (рис. 1) характеризуется образованием непрерывного ряда твердых растворов на основе модификаций ϵ -фазы плутония и γ -фазы скандия, а также широких областей твердых растворов на основе

δ -фазы плутония и α -фазы скандия. Максимальная растворимость скандия в δ -фазе плутония при температуре 660°C составляет 26%. Растворимость плутония в α -фазе скандия при температуре 850°C достигает 40%. Методом рентгенографического анализа установлено также существование широкой области твердых растворов на основе гранцентрированной кубической решетки β -фазы скандия. Максимальная растворимость плутония в β -фазе скандия составляет приблизительно 42—45%.

В области концентрации 41—43% скандия при температуре 760°C образуется промежуточная фаза ξ , имеющая структуру гексагональной четырехслойной компактной упаковки с неупорядоченным расположением атомов плутония и скандия в решетке. Периоды решетки этой фазы в пределах области гомогенности:

$$a = (3,310 \div 3,307) \pm 0,001 \text{ \AA};$$

$$c = (10,715 \div 10,718) \pm 0,002 \text{ \AA}.$$

Система Pu — Y. Эта система (рис. 2) характеризуется незначительной растворимостью иттрия в модификациях плутония. Растворимость плутония в α -фазе иттрия при температуре около 820°C составляет ~15%. Результаты настоящей работы удовлетворительно согласуются с данными, полученными сотрудниками Маундской лаборатории [1]. Однако в деталях, особенно в положении линии ликвидуса, при-

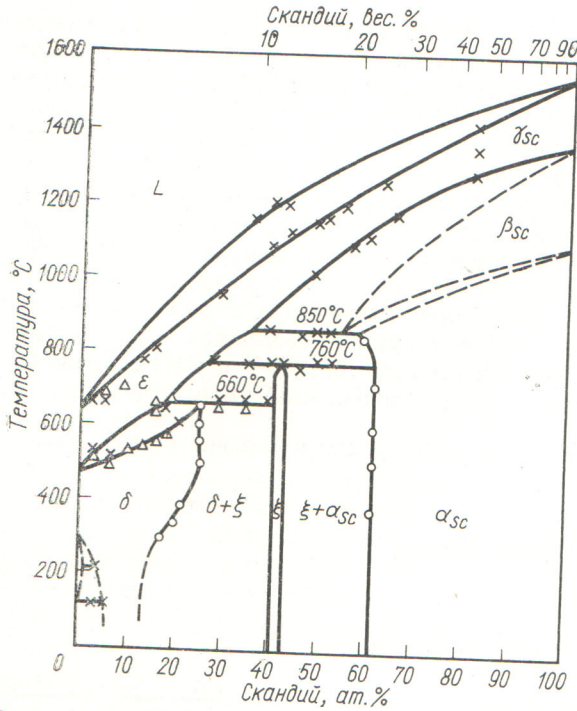


Рис. 1. Диаграмма состояний системы Pu — Se:
 × — данные термического анализа; Δ — данные дилатометрического анализа; ○ — данные рентгеноструктурного анализа.

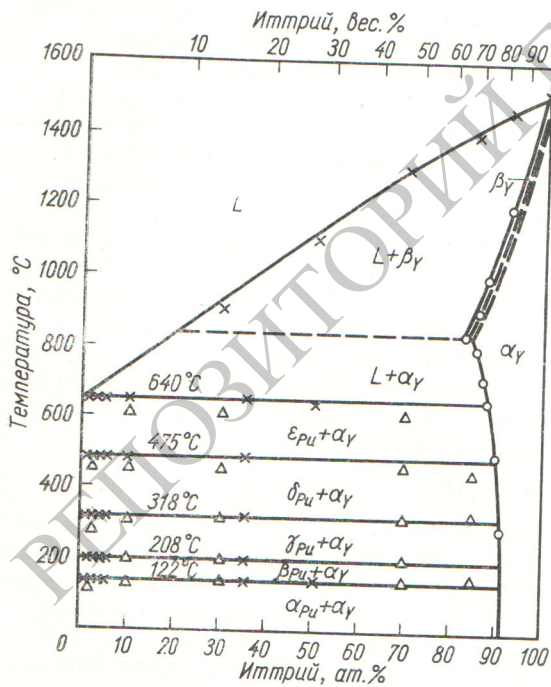


Рис. 2. Диаграмма состояний системы Pu — Y:
 × — данные термического анализа; Δ — данные дилатометрического анализа; ○ — данные рентгеноструктурного анализа.

веденная диаграмма существенно отличается от диаграммы, полученной американскими исследователями.

Системы Pu — Pr, Pu — Nd, Pu — Gd.
 Предварительные диаграммы состояния приведены на рис. 3—5. В системе Pu — Pr максимальная растворимость празеодима в ε- и δ-фазах плутония составляет около 10%. Твердый раствор на основе δ-фазы плутония не фиксируется при комнатной температуре даже при максимальном содержании празеодима. Растворимость плутония в β-фазе празеодима изменяется примерно от 30% при 600°С до 14% при 350°С. Максимальная растворимость плутония в α-фазе празеодима составляет около 13%. В сплавах, содержащих более 5% плутония, гранцентрированная кубическая решетка β-фазы празеодима может быть удержана до комнатной температуры путем закалки.
 В системе Pu — Nd максимальная растворимость неодима в ε- и δ-фазах плутония составляет около 8%, причем и в этом случае δ-фаза не фиксируется при комнатной температуре. Растворимость в β-фазе неодима изменяется от ~20% при температуре 600°С до ~16% при температуре 200°С.
 Максимальная растворимость плутония в α-фазе неодима равна ~14%. В сплавах, содер-

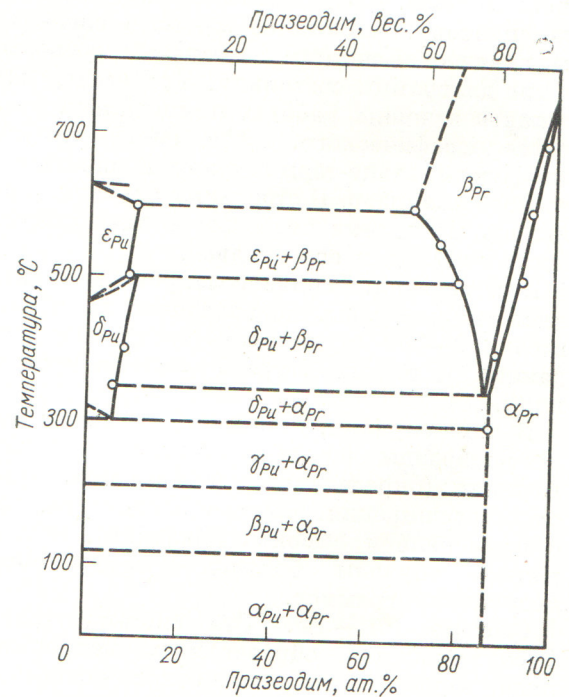


Рис. 3. Диаграмма состояния системы Pu — Pr:
 ○ — данные рентгеноструктурного анализа.

жащих более 5% плутония, твердый раствор на основе гранцентрированной кубической решетки β -неодима может быть зафиксирован при комнатной температуре путем закалки.

В системе Pu — Gd растворимость гадолиния в ϵ - и δ -фазах плутония достигает ~15%. Так же как и в системах плутония с празеодимом и неодимом, δ -фаза плутония не может быть зафиксирована при комнатной температуре. Максимальная растворимость плутония в α -фазе гадолиния составляет около 10%.

Система Pu — Ti. Диаграмма состояния (рис. 6) характеризуется наличием ограниченных областей твердых растворов на основе модификаций плутония и титана. Растворимость титана в ϵ -фазе плутония изменяется от 14% при температуре 730°С до ~6% при 450°С. Растворимость титана в δ -фазе плутония изменяется приблизительно от 4 до 2,5%. Максимальная растворимость титана в β -фазе плутония составляет около 2%, а в γ - и α -фазах около 0,5%.

В результате закалки из области ϵ -фазы сплавов, содержащих более 7% титана, фиксируется структура δ -фазы. При холодной пластической деформации структура δ -фазы испытывает превращение $\delta \rightarrow \alpha$, что свидетельствует о низкой устойчивости δ -фазы, легированной титаном.

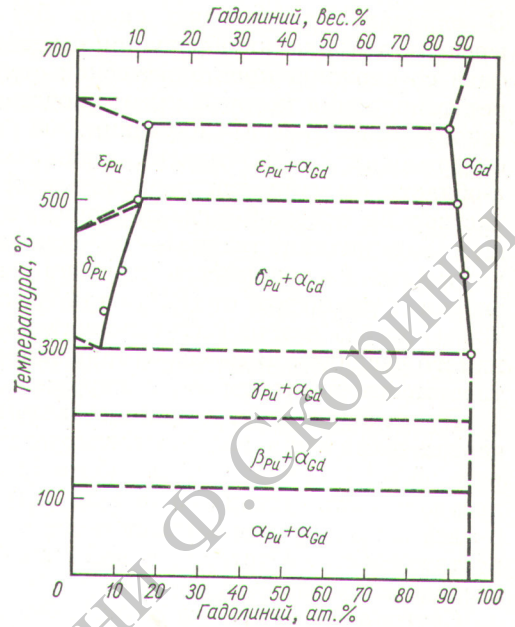


Рис. 5. Диаграмма состояния системы Pu — Gd: ○ — данные рентгеноструктурного анализа.

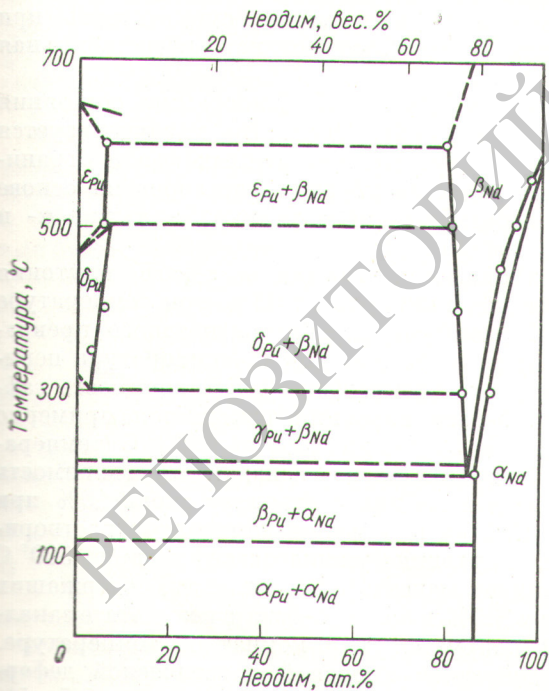


Рис. 4. Диаграмма состояния системы Pu — Nd: ○ — данные рентгеноструктурного анализа.

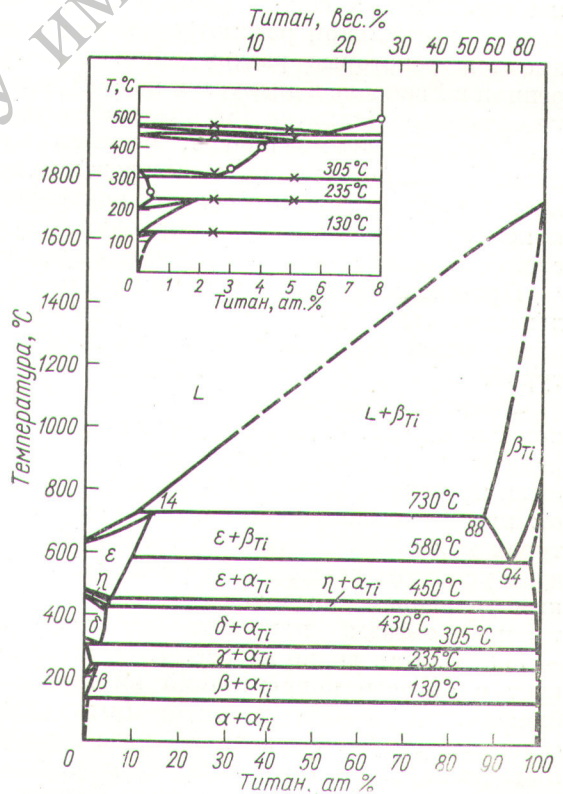
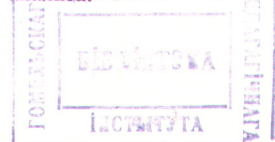


Рис. 6. Диаграмма состояния системы Pu — Ti: × — данные термического анализа; ○ — данные рентгеноструктурного анализа.



В сплавах, содержащих около 5% титана, в результате закалки образуется метастабильная фаза со сложной кристаллической структурой, рентгенограмма которой имеет сходство с рентгенограммой β -фазы плутония. В сплавах, содержащих 2–5% титана, при закалке из ϵ -области фиксируется пересыщенный твердый раствор на основе β -фазы плутония, при меньшем содержании титана — на основе α -фазы плутония. Растворимость плутония в β -фазе титана изменяется от 12% при температуре 730°С до 6% при 580°С (температура эвтектидного распада). В α -фазе титана заметной растворимости плутония не обнаружено.

Приведенная диаграмма состояния в общих чертах достаточно хорошо согласуется с диаграммой, опубликованной в работе [2]. Однако растворимость титана в ϵ -фазе плутония и β -фазе титана оказываются существенно меньше растворимости, установленной английскими исследователями.

Система Pu — Zr. Эта система была изучена советскими и английскими исследователями [3, 4]. Представленные в этих работах диаграммы состояния в общем хорошо согласуются, хотя при детальном рассмотрении между ними имеются некоторые расхождения. На конференции в Гренобле в дискуссии по этой диаграмме состояния Эллинггер [5] представил результаты исследования сплавов, богатых плутонием. Было установлено существование новой промежуточной ξ -фазы в области концентраций приблизительно 4–12% циркония, причем границы области точно не были определены.

Проведенные нами дополнительные исследования подтвердили существование ξ -фазы, обладающей сложной кристаллической структурой.

Участок диаграммы состояния Pu — Zr показан на рис. 7. Для получения ξ -фазы и определения границ области ее существования были проведены в течение длительного времени отжига метастабильной δ -фазы при температурах ниже 300°С в обычных условиях, а также в условиях всестороннего сжатия под высоким давлением, позволяющим сохранить состояние α -фазы плутония до температур \sim 300°С. Как видно из рис. 7, ξ -фаза существует в области концентраций циркония приблизительно 3–5% и может быть описана формулой Pu₁₉Zr. Указанная ξ -фаза образуется при температуре около 300°С в результате перитектоидной реакции между фазами δ и θ (Pu₆Zr). При температуре около 220°С ξ -фаза испытывает распад $\xi \rightarrow \beta + \theta$. Однако при

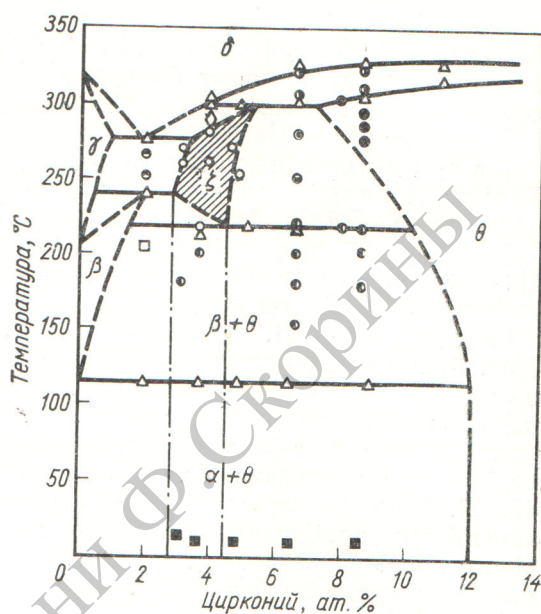


Рис. 7. Диаграмма состояния системы Pu — Zr. Данные рентгеноструктурного анализа: ● — θ -фаза; ○ — ζ -фаза; □ — β -фаза; ■ — $\alpha + \theta$ -фазы; ⊙ — $\gamma + \zeta$ -фазы; ◇ — $\delta + \zeta$ -фазы; ⊕ — $\beta + \theta$ -фазы; ⊖ — $\delta + \theta$ -фазы; ⊗ — $\zeta + \theta$ -фазы. Данные дилатометрического анализа — Δ .

обычных условиях охлаждения ξ -фаза легко переохлаждается и может существовать при комнатной температуре как метастабильная фаза.

Система Pu — Hf. Диаграмма состояния системы Pu — Hf (рис. 8) характеризуется наличием двух промежуточных фаз и ограниченных областей твердых растворов на основе δ - и ϵ -модификаций плутония, а также α - и β -фаз гафния.

Растворимость гафния в ϵ -фазе плутония изменяется примерно от 11% при температуре 765°С (температура перитектического превращения) до 5,5% при 520°С (температура перитектоидного превращения). Растворимость гафния в δ -фазе плутония изменяется примерно от 7% при 520°С до 3,5% при 290°С (температура эвтектидного распада). Растворимость плутония в гафнии составляет около 10% при 1150°С. При понижении температур растворимость плутония уменьшается и при 500°С составляет менее 1%. В сплавах, содержащих гафния 3,5% и более, δ -фаза в результате закалки фиксируется при комнатной температуре. Под действием холодной пластической деформации δ -фаза в сплавах, содержащих 3,5–5% гафния, испытывает превращение $\delta \rightarrow \alpha$.

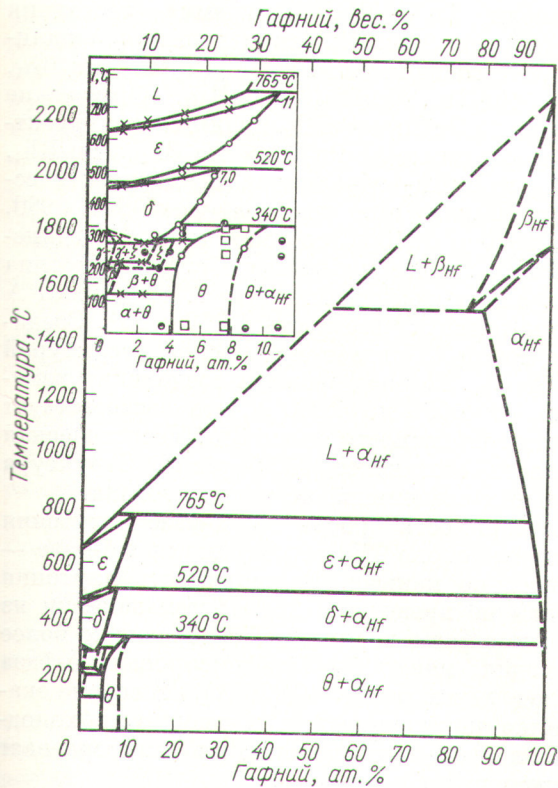


Рис. 8. Диаграмма состояния системы Pu — Hf.

Данные рентгеноструктурного анализа (○): □ — θ-фаза; ● — ξ-фаза; ○ — δ + α_{Hf}-фазы; ○ — δ + θ-фазы; ● — θ + α_{Hf}-фазы; ● — α + θ-фазы; × — данные термического анализа.

В результате длительных отжигов закаленных сплавов, содержащих до 9% гафния, при температурах, соответствующих областям β- и γ-фаз плутония, были получены промежуточные фазы, обозначенные нами θ, ξ и z. В результате опытов с применением всестороннего сжатия (отжиг в течение 30 ч при температуре 300°С и давлении 30 000 кг/см²) установлено, что θ-фаза представляет собой равновесную фазу со структурой, аналогичной структуре фазы Pu₆Zr. Область гомогенности этой фазы соответствует концентрации гафния ~ 4—10%. Кристаллическая структура θ-фазы (10% гафния) достаточно хорошо удовлетворяет ромбической решетке с периодами $a = 10,415 \pm 0,005 \text{ \AA}$; $b = 10,428 \pm 0,005 \text{ \AA}$ и $c = 11,245 \pm 0,005 \text{ \AA}$. Теоретическая плотность составляет 17,7 г/см³.

Фаза θ может быть получена также в сплавах с меньшим содержанием гафния (начиная с ~ 5%), однако при этом ее структура оказывается несколько измененной по сравнению

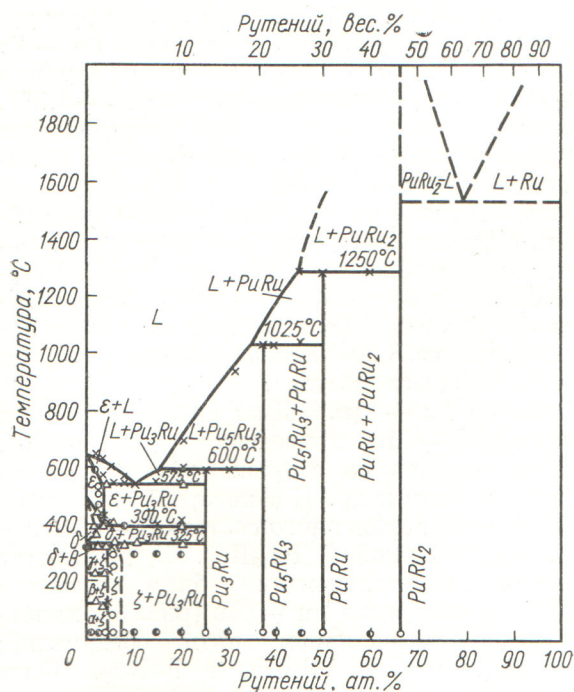
со структурой типа Pu₆Zr. Фаза ξ изоструктурна с аналогичной фазой в системе Pu — Zr и существует в ограниченном температурном интервале при концентрации гафния 3—4,5%. Фаза z является метастабильной и в результате отжига в условиях всестороннего сжатия испытывает распад $z \rightarrow \theta + \alpha$.

Фаза z образуется в сплавах с 7,5—9% гафния и обладает гексагональной решеткой с периодами $a = 3,205 \pm 0,001$ и $c = 5,100 \pm 0,001 \text{ \AA}$ ($c/a = 1,59$). Теоретическая плотность составляет 17,06 г/см³ (концентрация 9% гафния), что на 8,5% больше плотности δ-фазы соответствующего состава.

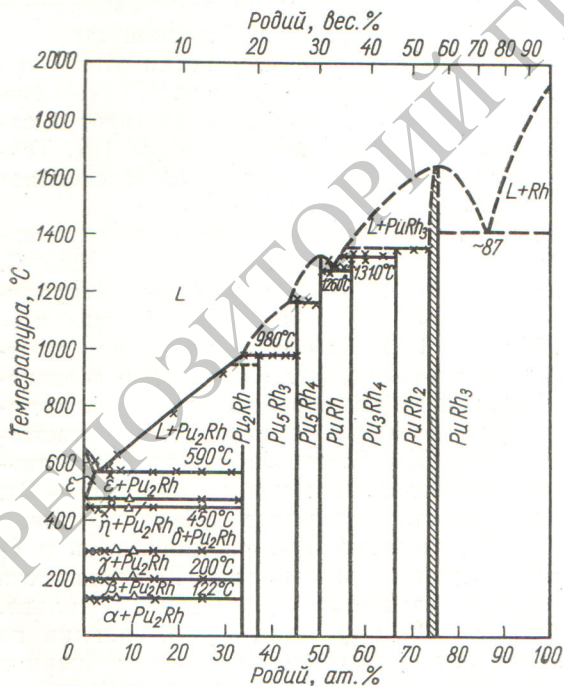
Система Pu — Ru. Диаграмма состояния системы Pu — Ru приведена в работе [6]. Область сплавов со стороны плутония была изучена Коупом и др. [7], которые установили наличие фазы переменного состава (3—6% рутения), обозначенной ξ (Pu₁₀Ru). В результате проведенного исследования была построена диаграмма состояния Pu — Ru (рис. 9), характеризующаяся наличием пяти соединений: ξ, Pu₃Ru, Pu₅Ru₃, PuRu и PuRu₂. Фаза переменного состава ξ образуется по перитектичной реакции при температуре 325°С и имеет область гомогенности от 3 до 7% рутения, что согласуется с данными Коупа. Соединение PuRu₂ плавится конгруэнтно при температуре выше 1600°С и обладает кубической структурой типа MgCu₂. Периоды решетки этого соединения изменяются в пределах $(7,472 \div 7,476) \pm 0,001 \text{ \AA}$, что свидетельствует о наличии области гомогенности порядка 1%. Теоретическая плотность соединения составляет 14,03 г/см³.

Соединение PuRu образуется по перитектической реакции при температуре 1250°С. Соединение обладает кубической структурой типа CsCl с периодом решетки $a = 3,3635 \pm 0,0006 \text{ \AA}$; его теоретическая плотность равна 14,84 г/см³. Химические соединения Pu₅Ru₃ и Pu₃Ru образуются по перитектическим реакциям при температурах соответственно 1025 и 600°С; они изоструктурны с аналогичными соединениями в системе Pu — Os.

Растворимость рутения в ε-фазе плутония составляет примерно 3%, растворимость в δ- и β-фазах существенно меньше. Растворимость плутония в рутении не обнаружена. В сплаве, содержащем 3% плутония, путем закалки из ε-области была зафиксирована δ-фаза (период решетки $a = 4,630 \text{ \AA}$), однако она неустойчива и при холодной пластической деформации превращается в α-фазу.



Р и с. 9. Диаграмма состояния системы Pu — Ru:
 O, D — данные рентгеноструктурного анализа;
 X — данные термического анализа; Δ — данные дилатометрического анализа.



Р и с. 10. Диаграмма состояния системы Pu — Rh:
 X — данные термического анализа; Δ — данные дилатометрического анализа.

Система Pu — Rh. Диаграмма состояния этой системы (рис. 10.) характеризуется наличием семи соединений: Pu_2Rh , Pu_5Rh_3 , Pu_3Rh_4 , $PuRh$, Pu_3Rh_4 , $PuRh_2$ и $PuRh_3$. Химические соединения $PuRh$ и $PuRh_3$ плавятся конгруэнтно, а соединения Pu_2Rh , Pu_5Rh_3 , Pu_3Rh_4 , Pu_3Rh_4 и $PuRh_2$ образуются по перитектическим реакциям при температурах 940, 980, 1180, 1310 и 1340° С соответственно. Соединение $PuRh_2$ имеет кубическую структуру типа $MgCu_2$ с периодом решетки $a = 7,488 \pm 0,001 \text{ \AA}$ и теоретическую плотность $14,07 \text{ г/см}^3$. Соединение $PuRh_3$ обладает кубической структурой типа $AuCu_3$. Период решетки соединения изменяется от 4,009 до 4,040 Å, что соответствует области гомогенности около 3%. Теоретическая плотность составляет $13,95 \text{ г/см}^3$. Структура остальных соединений не расшифрована.

Растворимость родия в ϵ -фазе плутония составляет около 2%, растворимость в δ -фазе — значительно меньше. Растворимость плутония в родии не превышает 2%. Путем закалки из области ϵ -фазы в сплавах, содержащих более 2% родия, может быть зафиксирована δ -фаза (период решетки $a = 4,629 \text{ \AA}$), которая оказывается неустойчивой и в результате холодной пластической деформации претерпевает превращение $\delta \rightarrow \alpha$.

Система Pu — Pd. Диаграмма состояния этой системы (рис. 11) характеризуется наличием четырех соединений: Pu_5Pd_4 (состав указан ориентировочно) *, λ -фаза, Pu_3Pd_4 и $PuPd_3$. Соединения Pu_3Pd_4 и $PuPd_3$ плавятся конгруэнтно при температурах 1190 и 1500° С соответственно; λ -фаза образуется по перитектической реакции при температуре 1150° С и устойчива до температуры 950° С. Соединение Pu_5Pd_4 образуется по перитектической реакции при температуре 970° С. Соединение $PuPd_3$ имеет кубическую структуру типа $AuCu_3$ с периодом решетки $a = (4,077-4,119) \pm 0,001 \text{ \AA}$, что соответствует области гомогенности около 5%. Теоретическая плотность равна $13,41 \text{ г/см}^3$ при концентрации палладия 75%. Соединение Pu_3Pd_4 обладает ромбоэдрической структурой с параметрами $a = 7,916 \pm 0,003 \text{ \AA}$ и $\alpha = 114,2^\circ$. В элементарной ячейке две формульные единицы, теоретическая плотность составляет $12,8 \text{ г/см}^3$. В гексагональной системе этой структуре соответствует решетка с перио-

* В настоящее время проводится расшифровка кристаллической структуры соединения Pu_5Pd_4 и уточнение его состава. По предварительным данным, соединение относится к структурному типу TeV.

дами $a = 13,304$ и $c = 5,783 \text{ \AA}$. Растворимость палладия в ϵ - и δ -фазах плутония не превышает 1%. Со стороны палладия в системе сплавов установлена широкая область твердых растворов. Растворимость плутония в палладии изменяется от 13,6% при комнатной температуре ($a = 3,995 \text{ \AA}$) до 14,3% при температуре 1000°C ($a = 3,9987 \text{ \AA}$).

Система Pu — Ir. В этой системе методом рентгенографического анализа установлено наличие трех химических соединений. Соединение PuIr_2 обладает кубической структурой типа MgCu_2 , период решетки $a = (7,512 \div 7,528) \pm 0,001 \text{ \AA}$. Состав двух других соединений — Pu_5Ir_3 и Pu_5Ir_4 — определен ориентировочно; их кристаллическая структура не расшифрована. Однако установлено, что соединения Pu_5Ir_4 изоструктурно с соединением Pu_5Rh_4 , а соединения Pu_5Ir_3 с соединениями Pu_5Ru_3 и Pu_5Os_3 . Заметной растворимости иридия в ϵ - и δ -фазах плутония не обнаружено. Растворимость плутония в иридии при температуре 1000°C составляет около 0,1%.

Система Pu — Pt. Диаграмма состояния системы Pu — Pt (рис. 12) характеризуется наличием пяти химических соединений. Два соединения — PuPt_3 и PuPt_5 — плавятся конгруэнтно при температурах приблизительно 1800 и 1700°C соответственно. Остальные соединения — Pu_5Pt_3 , PuPt , PuPt_2 — образуются по перитектическим реакциям при температурах 1130 , 1250 и 1475°C .

Соединение PuPt имеет ромбическую структуру типа TaV с периодами решетки: $a = 3,816 \pm 0,002$; $b = 10,694 \pm 0,005$; $c = 4,428 \pm 0,002 \text{ \AA}$; его теоретическая плотность равна $15,95 \text{ г/см}^3$. Установлено, что ромбическую структуру имеет также соединение UPt ($a = 3,721$; $b = 10,772$; $c = 4,410 \text{ \AA}$). Соединение PuPt_2 обладает структурой типа MgCu_2 . Периоды решетки изменяются в пределах $a = (7,631 \div 7,653) \pm 0,001 \text{ \AA}$, что соответствует области гомогенности порядка 1,5%. Теоретическая плотность равна $18,69 \text{ г/см}^3$. Соединение PuPt_3 имеет кубическую структуру типа AuCu_3 с периодом решетки $a = 4,107 \pm 0,001 \text{ \AA}$; его теоретическая плотность составляет $19,75 \text{ г/см}^3$. Структура остальных соединений не расшифрована. Однако следует отметить, что соединение PuPt_5 неизоструктурно с исследованным нами аналогичным соединением UPt_5 , которое имеет кубическую решетку типа AuBe_5 с периодом $a = 7,421 \pm 0,002 \text{ \AA}$.

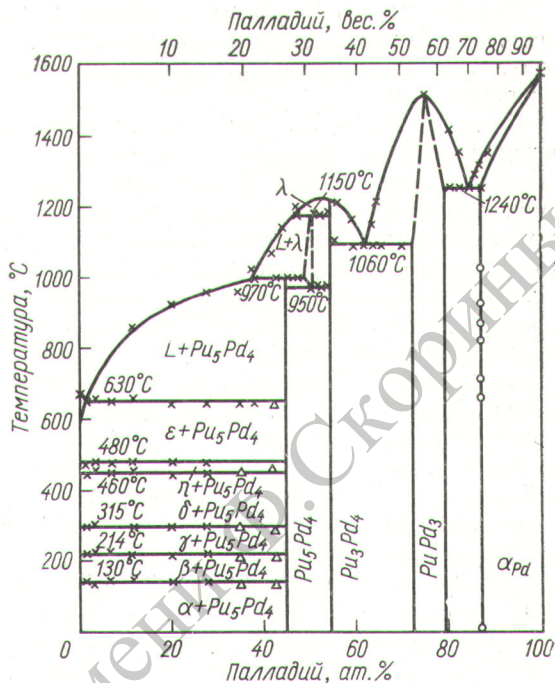


Рис. 11. Диаграмма состояния системы Pu — Pd: × — данные термического анализа; Δ — данные дилатометрического анализа.

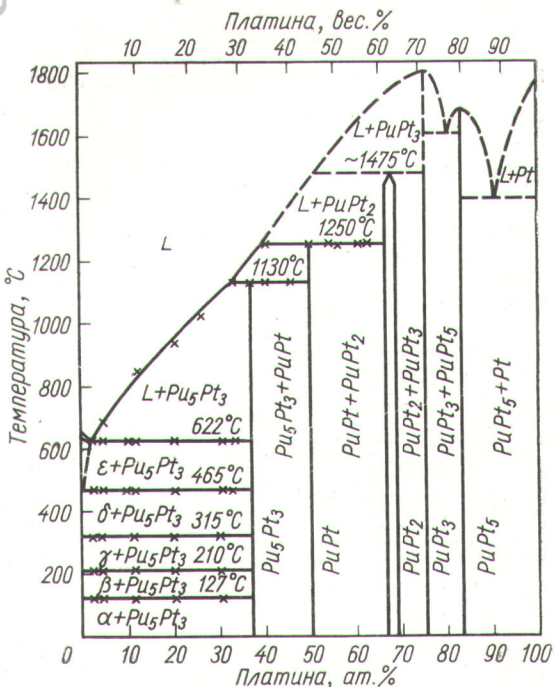


Рис. 12. Диаграмма состояния системы Pu — Pt: × — данные термического анализа.

Растворимость платины в ε -фазе плутония составляет около 1%, растворимость в δ -фазе — менее 1%. Растворимость плутония в платине незначительна.

Система Pu — Cu. Эту систему изучали советские [3], американские [8] и английские [9] исследователи. Диаграмма состояния (рис. 13) характеризуется наличием нескольких химических соединений. Ввиду сложности кристаллической структуры соединений определение их составов представляло значительные трудности. В работе [3] показано наличие трех соединений: PuCu_2 , PuCu_4 и PuCu_6 . В дальнейшем [9] было подтверждено существование двух соединений — PuCu_2 и PuCu_4 и установлено два новых соединения — $\text{Pu}_2\text{Cu}_{11}$ и $\text{Pu}_4\text{Cu}_{17}$, причем приведенная в указанной работе фазовая диаграмма состояния хорошо согласуется с данными советских исследователей.

Дальнейшее изучение этой системы позволило нам расшифровать кристаллическую структуру соединения PuCu_6 . Установлено, что это соединение обладает ромбической решеткой типа CeCu_6 [10] с периодами $a = 8,050 \pm 0,003$; $b = 5,025 \pm 0,003$; $c = 10,059 \pm 0,006$ Å. Его пространственная группа $R\bar{3}m$ (D_{2h}^{16}). Элементарная ячейка содержит четыре формульные единицы; теоретическая плотность со-

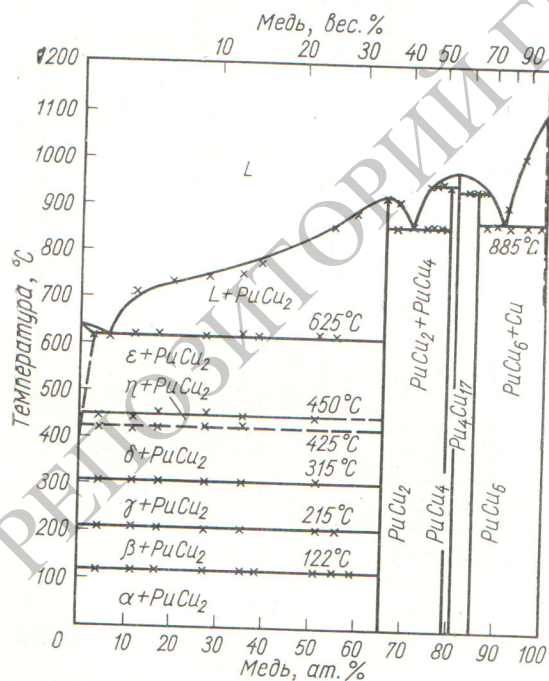


Рис. 13. Диаграмма состояния системы Pu — Cu: × — данные термического анализа.

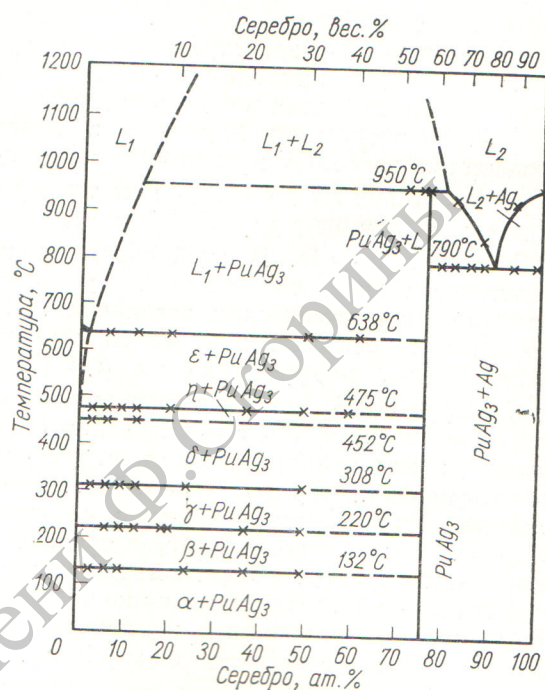


Рис. 14. Диаграмма состояния системы Pu — Ag: × — данные термического анализа.

ставляет $10,12 \text{ г/см}^3$. Таким образом, было подтверждено существование соединения состава PuCu_6 , а существование соединения $\text{Pu}_2\text{Cu}_{11}$ не подтвердилось.

Система Pu — Ag. В результате взаимодействия двух жидких фаз в системе образуется одно соединение: PuAg_3 . Кристаллическая структура этого соединения была установлена Раннолсом [11]. Соединение имеет гексагональную решетку с периодами $a = 12,83 \pm 0,003$; $c = 9,402 \pm 0,005$ Å. В элементарной ячейке 16 формульных единиц; теоретическая плотность составляет $11,33 \text{ г/см}^3$.

Диаграмма состояния (рис. 14) характеризуется наличием ограниченной растворимости в жидком состоянии. Область несмешиваемости при температуре 950°C соответствует концентрации серебра, равной 12–77%. В системе сплавов имеется эвтектика с 89,8% серебра и температурой плавления 790°C . По данным Бегли [12], температура образования эвтектики также равна 790°C , однако состав ее соответствует 95,2% серебра. Микроструктура эвтектического сплава приведена на рис. 15. Растворимость компонентов в твердом состоянии практически отсутствует.

Система Pu — Au. Диаграмма состояния этой системы приведена на рис. 16. Система

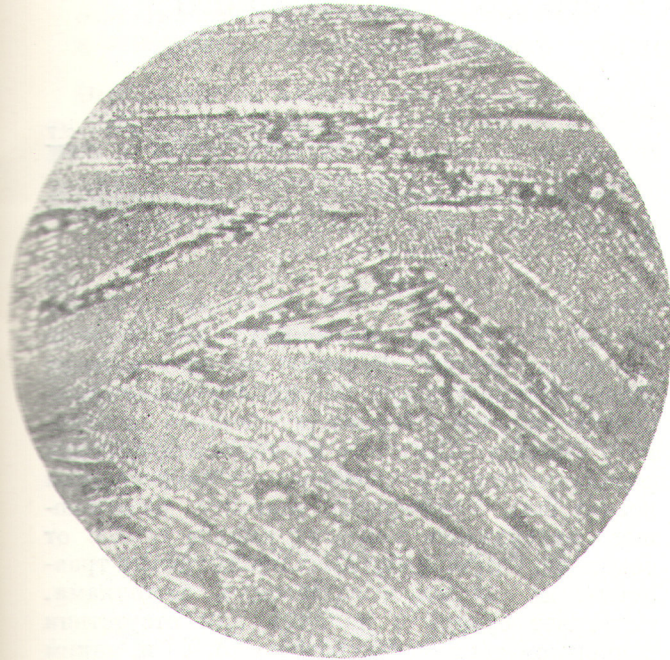


Рис. 15. Микроструктура сплава Pt — Ag, содержащего 59,8% серебра.

сплавов характеризуется наличием пяти химических соединений. Соединение $PuAu_3$ плавится конгруэнтно при температуре $1250^\circ C$, имеет гексагональную структуру с периодами решетки $a = 12,710 \pm 0,005$; $c = 9,210 \pm 0,005$ Å. Число формульных единиц равно 16, теоретическая плотность составляет $17,11$ г/см³.

Четыре соединения — $PuAu$, $PuAu_2$, $PuAu_4$ и $PuAu_5$ — образуются по перитектическим реакциям при температурах 1140, 1170, 860 и $830^\circ C$ соответственно. Структура этих соединений не расшифрована. Некоторое снижение температуры перехода $\eta \rightarrow \epsilon$ ($462^\circ C$) свидетельствует о наличии небольшой растворимости золота в ϵ -фазе плутония. Растворимость золота в остальных фазах плутония и растворимость плутония в золоте не обнаружена.

Поступила в Редакцию 15/VI 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Pardue. Reactor Materials, 7, 213 (1964—1965).
2. Р. Эллиотт, А. Ларсон. В сб. «Плутоний». Докл. иностр. ученых. М., Атомиздат, 1964, стр. 198.

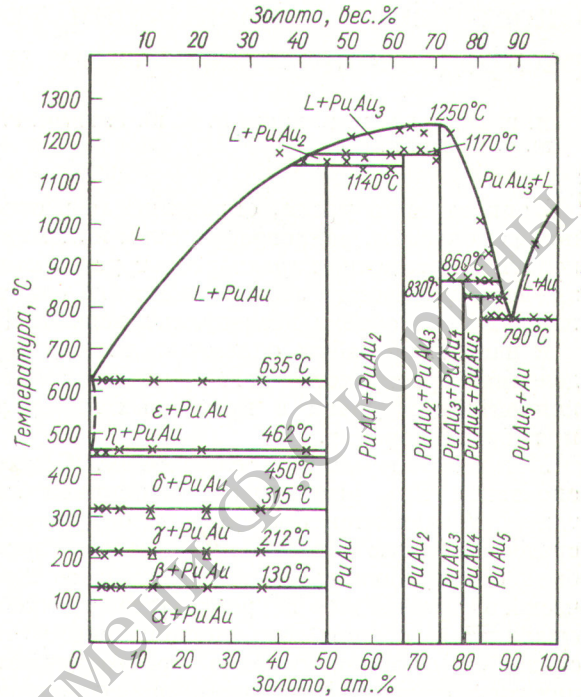


Рис. 16. Диаграмма состояния системы Pu — Au: × — данные термического анализа; Δ — данные дилатометрического анализа.

3. А. А. Бочвар и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958)». Докл. советских ученых. Т. 3. М., Атомиздат, 1959, стр. 370.
4. М. Б. Уолдрон и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958)». Избр. докл. иностр. ученых. Т. 6. М., Атомиздат, 1959, стр. 667.
5. Ф. Эллигер. См. [2], стр. 226.
6. F. Schonfield et al. Metallurgy and Fuels. Ed. Finniston. Ser. V. Vol. 2. London, Pergamon Press, 1959.
7. Р. Коуп и др. См. [2], стр. 200.
8. A. Coffinberry, M. Waldron. Progr. Nucl. Energy, Ser. V, 1, 354 (1956).
9. Т. Райнхаммер. См. [2], стр. 203.
10. D. Cromer et al. Acta Crystallogr., 13, 913 (1960).
11. R. Runnals. Canad. J. Chem., 34, 133 (1956).
12. К. Бэгли. В кн. «Плутоний и его сплавы». М., Атомиздат, 1958, стр. 36.