

В. А. НЕМИЛОВ, А. А. РУДНИЦКИЙ и Р. С. ПОЛЯКОВА

## О СПЛАВАХ ПАЛЛАДИЯ С МЕДЬЮ

Впервые система палладий—медь была изучена Руэром [1] в 1906 г. Методом термического анализа им было установлено, что компоненты образуют непрерывный ряд твердых растворов.

Хольгерсон и Зедштрем [2] в 1924 г. впервые произвели рентгенографическое исследование сплавов системы медь — палладий. Исследование восьми сплавов показало, что при содержании палладия до 36.4 ат. % сплавы обладают гранецентрированной кубической решеткой, при 39.7 % — смешанной объемно- и гранецентрированной, при 45.5 % — кубической объемноцентрированной, при 49.8 % — смешанной, при 51.9 % (и больше) палладия — гранецентрированной кубической решеткой. В статье приведены также данные Зедштрема для термоэлектродвижущей силы сплавов и электросопротивления. На кривой электросопротивления имеются две резко выраженные сингулярные точки-минимум у 40 и 50 ат. % палладия. Наличие сингулярных точек у сплавов этих составов противоречит данным рентгеновского анализа авторов, так как у сплава с 39.7 ат. % палладия, близкого к 40 ат. %, и у сплава 49.8 % палладия, близкого к 50 ат. %, имеется смесь кристаллических решеток.

Иогансон [3] в 1925 г. определил коэффициент расширения ряда сплавов палладия с медью. Полученные результаты, однако, не дали указаний на превращения в сплавах в твердом состоянии. Иогансон и Линде [4] в том же 1925 г. произвели рентгеновское исследование ряда сплавов палладия с медью. В сплаве с 39.9 ат. % палладия авторами установлено наличие упорядоченной решетки типа хлористого цезия. У сплава с содержанием палладия 49.8 ат. % установлено наличие объемноцентрированной решетки типа хлористого цезия без следа гранецентрированной, а у сплава с 49.95 ат. % палладия — чистая гранецентрированная, со статистическим распределением атомов. Те же авторы [5] в 1927 г. в более подробном исследовании, выполненном методами рентгеновского анализа и электросопротивления, установили, что в закаленном состоянии все сплавы обладают неупорядоченной кубической гранецентрированной решеткой. При отжиге в сплавах, содержащих 10—28 ат. % палладия, образуется упорядоченная структура гранецентрированной кубической решетки, а в сплавах, содержащих 37—49 ат. % палладия, при отжиге образуется упорядоченная объемноцентрированная кубическая решетка. Исследование электросопротивления, произведенное авторами, в отличие от данных Зедштрема [2], нашедшего два резких сингулярных минимума у сплавов с 40 и 50 ат. % палладия, показало наличие двух пологих, но достаточно четко выявляемых минимумов в области с 10—28 и 37—49 ат. % палладия.

Борелиус, Иогансон и Линде [6] в 1928 г. вновь исследовали электросопротивление ряда сплавов системы палладий — медь при различных температурах для установления температуры упорядочения.

В работе авторы без достаточных оснований пользуются обозначениями химических соединений — формулами  $PdCu_3$  и  $PdCu$ . По данным самих авторов, на кривой электросопротивления отожженных сплавов имеются два пологих минимума: один в области 10—25, другой в области 40—50 ат. % палладия. Таким образом, составы  $PdCu_3$  и  $PdCu$  лежат на границах минимумов электросопротивления, что едва ли может иметь место. Кроме того, авторы, сравнивая результаты рентгеновских исследований соединений  $AuCu_3$  и  $PdCu_3$ , пишут: «В то время, как у соединения  $AuCu_3$  получаемое при отжиге упорядочение проявляется на рентгенограммах наиболее резко, как раз при этом составе у сплавов палладия с медью оно резко сдвинуто в сторону меди. При содержании палладия больше 25 ат. % сверхструктурные линии, показывающие на дифрактограммах упорядочение, едва заметны. Они наиболее сильны при 17 ат. % палладия и исчезают около 10 ат. % палладия». Таким образом, формула  $PdCu_3$  не соответствует составу сплава с наиболее сильным упорядочением, т. е. составу соединения — дальтонида. Что касается соединения  $PdCu$ , то, по данным Иогансон и Линде [4], уже сплав с содержанием 49.95 ат. % палладия обладает гранецентрированной решеткой со статистическим распределением атомов; упорядоченная же объемноцентрированная решетка наблюдается у сплавов, содержащих 37—49 ат. % палладия. Таким образом, формула  $PdCu$  также не может отвечать составу химического соединения — дальтонида.

Свенсон [7] в 1932 г. исследовал магнитную восприимчивость и электросопротивление сплавов меди с палладием. Работа не внесла ничего нового в познание природы сплавов. Магнитная восприимчивость изменяется плавно (может быть, вследствие неправильной термической обработки).

Что касается кривых электросопротивления, то автор не делает определенных выводов о составе химических соединений, указывая лишь, что минимум электросопротивления лежит в области соединения  $Cu_3Pd$  при 16—18 ат. % палладия. Линде [8] в 1932 г. произвел исследование постоянных решеток сплавов палладия с медью как в неупорядоченном, так и в упорядоченном состоянии. Автор установил, что у сплавов, содержащих 38—50 ат. % палладия, при упорядочении происходит переход кубической гранецентрированной решетки в объемноцентрированную и при этом наблюдается сжатие решетки. В области сплавов, содержащих 10—25 ат. % палладия, при упорядочении сохраняется кубическая гранецентрированная решетка и изменения параметров не наблюдается.

Исследованием магнитной восприимчивости сплавов системы палладий — медь, произведенным Зееманом [9] в 1932 г., установлено резкое изменение магнитной восприимчивости в области  $Cu_3Pd$  при упорядочении; изменения в области  $CuPd$  не наблюдалось. Вследствие того, что автором не приводится состав исследованных сплавов, работа не представляет особого интереса. Зееман произвел исследование электросопротивления сплавов в области 20—30 ат. % палладия [10], а в 1934 г. — в области 37—52 ат. % палладия [11]. Автором установлено, что электросопротивление после отжига дает минимумы при 20 и 37—43 ат. % палладия. Положение минимумов электросопротивления, по данным Зееманна, также указывает на несоответствие формул  $Cu_3Pd$  и  $CuPd$  положению химических соединений в диаграмме.

Тейлор [12] в 1934 г. исследовал сплавы области превращений в системе палладий — медь методами термического анализа, микроструктуры

и электросопротивления. Автором установлены температуры двух превращений с максимумами около 20 и 40 ат. % палладия. Максимумы на температурных кривых превращений соответствуют минимумы на кривых электросопротивления.

П. С. Белоногов [13] в 1936 г. исследовал превращения в системе палладий — медь методами термического анализа, твердости, микроструктуры и электросопротивления. Автор нашел максимумы на кривых термического анализа и минимумы на кривых твердости и электросопротивления точно у сплавов состава 25 и 50 ат. % палладия, из чего и сделал вывод об образовании в твердом состоянии определенных химических соединений  $\text{Cu}_3\text{Pd}$  и  $\text{CuPd}$ . Данные Белоногова находятся в противоречии как с данными рентгенографического анализа, полученными различными авторами, так и с данными настоящего исследования.

Джонс и Сайкс [14] в 1939 г. выполнили подробное рентгенографическое исследование сплавов палладия с медью, содержащих до 60 ат. % палладия, а также произвели измерения теплоемкости. Вследствие тщательности приготовления сплавов и их термической обработки — отжига — полученные Джонсом и Сайксом данные по структуре сплавов заслуживают большего доверия, чем данные предыдущих исследований. Авторами установлено, что в отожженных сплавах наблюдается упорядочение решеток в областях от 10 до 27 и от 30 до 57 ат. % палладия. В сплавах, содержащих 10—18 ат. % палладия, наблюдается кубическая гранецентрированная упорядоченная решетка, а в сплавах с 18—25 ат. % палладия — тетрагональная упорядоченная. Сплавы, содержащие 30—35 ат. %, а также сплавы, содержащие 47—58 ат. % палладия, показывают наличие смеси неупорядоченной гранецентрированной и упорядоченной объемноцентрированной решеток. Сплавы составов от 35 до 47 ат. % палладия показывают наличие одной решетки, именно: упорядоченной кубической объемноцентрированной. Из данных, полученных Джонсом и Сайксом, следует, что соединение  $\text{CuPd}$  не существует, так как сплав этого состава показывает наличие смеси решеток — объемноцентрированной упорядоченной и гранецентрированной неупорядоченной; область же одной упорядоченной объемноцентрированной решетки расположена около 40 ат. % палладия.

Кестер [15] в 1940 г. исследовал изменение модуля упругости сплава состава  $\text{PdCu}_3$  (точный состав не приводится) с температурой и установил, что при нагревании при  $490^\circ$  происходит заметное изменение модуля упругости, указывающее на переход из упорядоченного состояния в неупорядоченное. Полученная Кестером для сплава с 25 ат. % палладия температура перехода совпадает как с данными Тейлора, так и с данными настоящей работы. Однако в общем исследование Кестера интереса не представляет, так как оно не дает ничего нового в строении диаграммы и посвящено исследованию сплава, не обладающего ни наибольшей упорядоченностью, ни сингулярной точкой на кривых свойств.

С. Сидоров [16] в 1946 г. исследовал эффект Холла и электросопротивление у трех сплавов палладия с медью, с содержанием 15, 25 и 44 ат. % палладия, в зависимости от температуры отжига. В исследованных автором сплавах при температурах упорядочения наблюдался излом кривых. Температуры упорядочения исследованных автором сплавов совпадают с данными настоящей работы, однако в вопрос установления состава химических соединений цитируемое исследование ничего нового не вносит.

Как следует из обзора литературы, наличие определенных химических соединений,  $\text{Cu}_3\text{Pd}$  и  $\text{CuPd}$ , ранее выполненным исследованиям структуры сплавов и электросопротивления не подтверждается; вероятно, эти формулы появились по аналогии с действительно существующими соеди-

нениями  $\text{Cu}_3\text{Pt}$  и  $\text{CuPt}$ . Однако процессы упорядочения, происходящие в областях концентраций около 20 и 40 ат. % палладия, с несомненностью указывают на существование определенных химических соединений, образующихся при охлаждении палладиево-медных твердых растворов, но другого состава, чем предполагалось раньше.

В связи с исследованием тройной системы палладий — золото — медь представило интерес произвести новое тщательное изучение имеющихся в системе палладий — медь превращений в твердом состоянии.

Настоящее исследование произведено методами дифференциального термического анализа (для сплавов, лежащих в областях превращений, в твердом состоянии), твердости по Бринеллю, микроструктуры, электросопротивления и его температурного коэффициента.

В качестве исходных материалов применялись: палладий с содержанием примесей не больше 0,01 %, золото с содержанием примесей не больше 0,001 % и электролитическая медь. Приготовление сплавов производилось в высокочастотной печи. Несмотря на то, что угар, наблюдавшийся при сплавлении, был очень незначителен, сплавы, лежащие в областях концентраций, где происходят превращения в твердом состоянии, были проанализированы, причем содержание палладия определялось посредством осаждения его диметилглиоксимом, содержание меди — по разности.

### Термический анализ

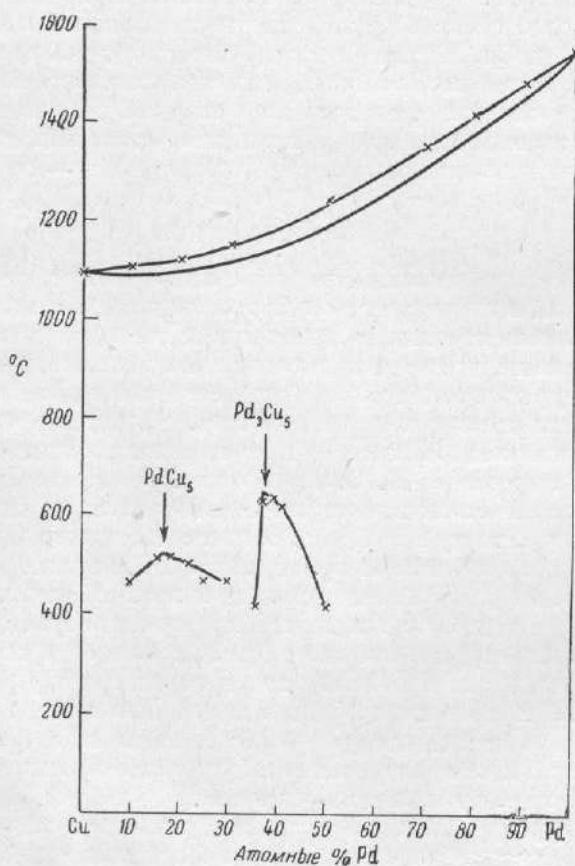
Метод термического анализа применен лишь для определения температур превращений в твердом состоянии. Определение температур начала и конца кристаллизации сплавов в настоящем исследовании проведено не было — использованы достаточно достоверные данные Руэра [1]. Определение температур превращений в твердом состоянии произведено у сплавов с содержанием палладия от 10 до 60 ат. %. Исследование производилось дифференциальным методом при помощи платино-платинородиевых термопар и пиromетра Н. С. Курнакова.

Все исследованные сплавы до термического анализа были подвергнуты предварительному отжигу в вакууме. Отжиг состоял в выдержке в течение 5 суток при  $850^\circ$  для выравнивания концентраций твердых растворов, медленном охлаждении до  $550^\circ$ , выдержке при этой температуре в течение 5 суток, охлаждении до  $300^\circ$  с выдержкой в течение 5 суток и охлаждении до комнатной температуры в течение 6 час. Сплавы, содержащие от 35 до 50 ат. % палладия, кроме того, были подвергнуты отжигу в течение 14 суток при  $550$ — $600^\circ$  и медленному охлаждению. Для каждого сплава записывались три кривые температура — время, а именно, кривая нагревания, охлаждения и нового нагревания. Нагревание производилось до  $700^\circ$  в течение 40—45 мин., охлаждение — в течение 1— $1\frac{1}{2}$  час. При охлаждении наблюдался температурный гистерезис, доходивший в отдельных сплавах до  $20$ — $40^\circ$ , поэтому как более правильные были приняты данные кривых нагревания. В качестве эталона была использована электролитическая медь. Результаты термического анализа приведены в таблице (стр. 32) и на фиг. 1. Как видно из диаграммы (фиг. 1), в твердом состоянии сплавы испытывают два превращения с максимумами в области 17 и 37 ат. % палладия. Максимум при 17 ат. % палладия лежит около  $525^\circ$ , при 37 ат. % палладия — около  $650^\circ$ . По сторонам от этих составов температуры превращений поникаются. Весь большинства подвергавшихся термическому анализу сплавов составлял 10 г, только сплавы с 25 и 50 ат. % палладия были взяты весом 50 г для точной проверки наличия или отсутствия предполагавшихся ранее другими авторами химических соединений  $\text{Cu}_3\text{Pd}$  и  $\text{CuPd}$ . Однако наиболее сильные термические эффекты оказались у сплавов, лежащих по

составу около химических соединений  $PdCu_5$  и  $Pd_3Cu_5$ ; у сплава, содержащего 45 ат. % палладия (весом 10 г), термический эффект отсутствовал, а сплав состава 50 ат. % палладия дал очень слабый термический эффект, несмотря на то что вес этого сплава составлял 50 г.

### Твердость

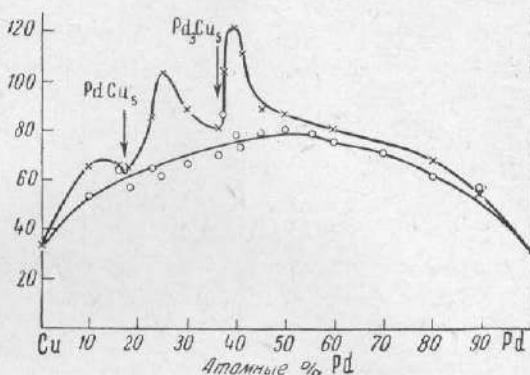
У всех сплавов, предварительно отожженных (при температурах, указанных в разделе «Термический анализ»), определена твердость по Бринеллю при нагрузке 250 кг и диаметре шарика 10 мм. Затем все сплавы подвергнуты закалке путем нагрева до  $850^\circ$ , выдержке в течение 1 часа



Фиг. 1. Термическая диаграмма системы Cu — Pd

под слоем смеси хлористого бария и хлористого натрия, во избежание окисления, и быстрому охлаждению в воде. У закаленных сплавов также была определена твердость по Бринеллю. Результаты измерений приведены в таблице и на диаграммах (фиг. 2). Твердость закаленных сплавов представлена плавной кривой с пологим максимумом, как это и должно быть для непрерывного ряда твердых растворов в двойной системе. Кривая твердости отожженных сплавов имеет два сингулярных минимума, лежащих у сплавов с содержанием около 17 и 37 ат. % палладия.

Сопоставление данных термического анализа (фиг. 1) и характера изменения твердости по Бринеллю для отожженных и закаленных выше температур превращений сплавов (фиг. 2) дает все основания утверждать, что в системе палладий — медь при высоких температурах имеется непрерывный ряд твердых растворов, из которого при охлаждении образуются химические соединения — дальтониды, отвечающие формулам  $PdCu_5$  и  $Pd_3Cu_5$ .

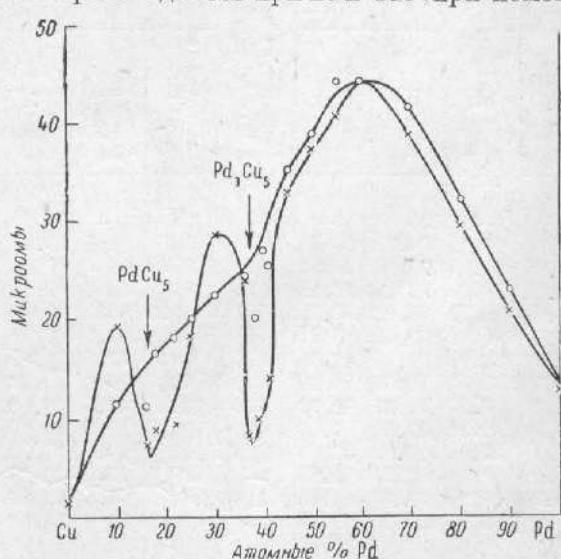


Фиг. 2. Твердость по Бринеллю системы Cu — Pd

— о — о — о — закаленные сплавы;  
— × — × — × — отожженные сплавы

### Электросопротивление и его температурный коэффициент

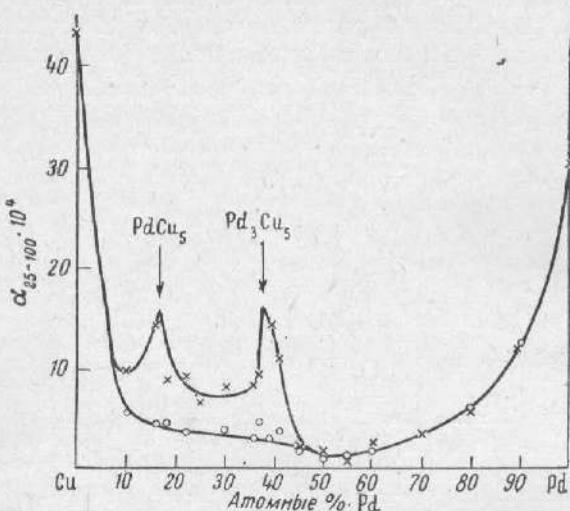
Образцы для измерения электросопротивления и его температурного коэффициента были приготовлены в виде проволок посредством прокатки на ручном волочильном станке и протяжки через фильтры. Измерение электросопротивления проволок производилось при 25° и 100° при помощи потенциометра как в закаленном, так и в отожженном состояниях. Термическая обработка образцов производилась так же, как и при определении твердости. Все сплавы подвергнуты ступенчатому отжигу: 5 суток при 850°, 5 суток при 550° и 5 суток при 300°. Закалка всех проволок производилась с 850° после выдержки при этой температуре в течение 1 часа. Результаты измерений приведены в таблице и на диаграммах (фиг. 3 и 4). На кривой электросопротивлений отожженных сплавов (фиг. 3) ясно выражены два сингулярных минимума в тех же областях состава, как



Фиг. 3. Удельное электросопротивление при 25° системы Cu — Pd

— о — о — о — закаленные сплавы;  
— × — × — × — отожженные сплавы

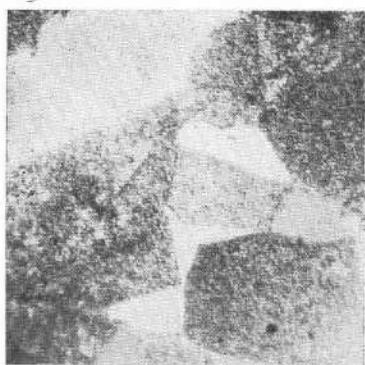
и на кривой твердости (фиг. 2), и соответствующих химическим соединениям — далтонидам:  $PdCu_5$  и  $Pd_3Cu_5$ . Кривая электросопротивления закаленных сплавов (фиг. 3) представляет собой кривую с пологим максимумом.



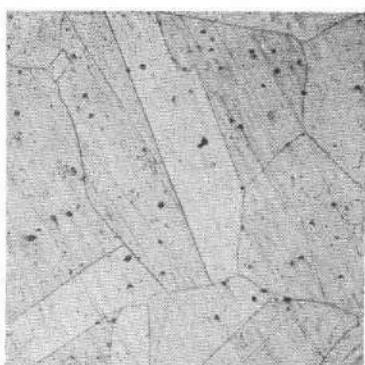
Фиг. 4. Температурный коэффициент электросопротивления  $\alpha_{25-100}$  системы Cu—Pd  
— о—о—о— закаленные сплавы;  
— ×—×—×— отожженные сплавы

#### Свойства сплавов палладия с медью

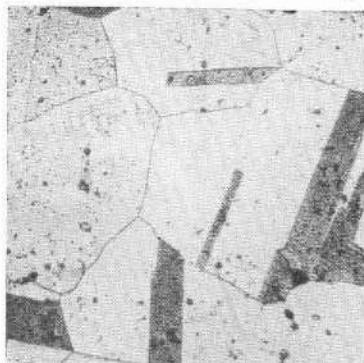
Состав сплавов				Температура превращений в твердом состоянии (°C)	Твердость по Вринеллю (в кг/мм <sup>2</sup> )		Электросопротивление отожженных сплавов (в микроомах)		Электросопротивление закаленных сплавов (в микроомах)	Температурный коэффициент сопротивления отожженных сплавов $\alpha \cdot 10^4$	
Ат. %	Вес. %				отожженные сплавы	закаленные сплавы	при 25°	при 100°	при 25°	при 100°	
Cu	Pd	Cu	Pd								
100	—	100	—	—	33	—	1.56	—	43.8	—	—
90	10	84.27	15.73	469	66	54.5	19.57	20.97	9.77	11.88	12.38
84.07	15.93	75.88	24.12	522	65.5	65	7.44	8.21	14.25	11.44	11.85
81.85	18.15	72.88	27.12	524	65	58	9.23	9.83	8.89	16.65	17.21
77.27	22.73	66.95	33.05	507	84.5	65	9.43	10.07	9.34	18.35	18.88
75.0	25.0	64.13	35.87	476	104	62.5	18.36	19.52	6.92	20.27	—
70.0	30.0	58.16	41.84	472	88.5	67.5	28.49	30.21	8.21	22.51	23.17
63.41	36.59	50.80	49.20	420	81	70	24.32	25.81	8.34	24.73	25.29
62.85	37.15	50.21	49.79	638	104	87.5	8.08	8.63	9.43	20.06	20.77
60.19	39.81	47.39	52.62	641	122.5	79.5	10.06	11.13	14.7	27.04	27.63
58.94	41.06	46.09	53.91	626	111	74.5	14.73	15.94	11.26	25.73	26.41
55.0	45.0	42.13	57.87	—	87.5	79.5	33.23	33.73	2.02	35.49	36.01
50.0	50.0	37.34	62.66	418	86.5	81.5	37.16	37.62	1.66	38.73	38.94
45.0	55.0	32.75	67.25	—	79.5	79	40.82	41.09	0.88	44.34	44.77
40.0	60.0	28.42	71.58	—	81	75	44.29	45.10	2.44	43.95	44.34
30.0	70.0	20.33	79.67	—	73	72	38.73	39.73	3.47	41.79	—
20.0	80.0	12.96	87.04	—	69	61.5	29.51	30.89	6.33	32.49	33.94
10	90	6.21	93.79	—	55	58	21.00	22.85	12.10	23.30	25.44
—	100	—	100	—	31.5	—	13.016	15.708	30.796	—	—



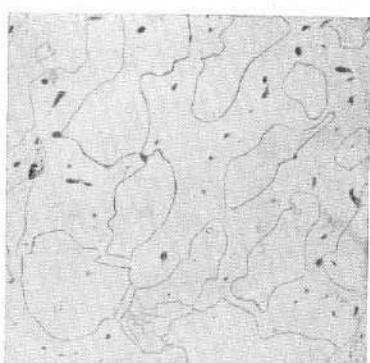
Фиг. 5. Pd — 15.93 ат.%,  
отожжен.  $\times 300$



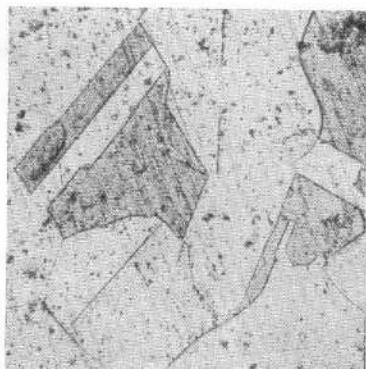
Фиг. 6. Pd — 25 ат.%,  
отожжен.  $\times 100$



Фиг. 7. Pd — 30 ат.%,  
отожжен.  $\times 100$



Фиг. 8. Pd — 37.15 ат.%,  
отожжен.  $\times 200$



Фиг. 9. Pd — 50 ат.%,  
отожжен.  $\times 100$



Фиг. 10. Pd — 60 ат.%,  
отожжен.  $\times 100$



мом, характерную для непрерывного ряда твердых растворов. В полном соответствии с кривыми электросопротивления находятся и кривые температурного коэффициента электросопротивления (фиг. 4), а именно: кривая для отожженных сплавов имеет два сингулярных максимума, соответствующих химическим соединениям  $PdCu_5$  и  $Pd_3Cu_5$ , кривая закаленных сплавов, резко понижаясь по мере прибавления палладия к меди, проходит затем через пологий минимум и вновь поднимается к чистому палладию.

### Микроструктура

Микроструктура сплавов исследована как в отожженном, так и в закаленном состоянии. Наилучшим проправителем оказался слабый раствор брома в воде. Можно было предполагать, что образование химического соединения  $Pd_3Cu_5$ , сопровождающееся изменением гранецентрированной решетки в упорядоченную объемноцентрированную, вызовет и изменение микроструктуры, которое выражается в образовании двойников при отжиге сплава. Такое образование двойников наблюдается в ряде случаев, например, при образовании соединений  $CuAu$ ,  $CuPt$ , когда упорядочение сопровождается изменением типа решетки. Однако, как видно из фиг. 8, отожженный сплав с содержанием 37.15 ат. % палладия состоит из однородных кристаллов. Образования двойников при простом упорядочении, без изменения типа решетки, обычно не наблюдается (например,  $Cu_3Au$ ,  $Cu_3Pt$ ). Поэтому естественно, что в сплаве, соответствующем соединению  $PdCu_5$ , имеется однородная зернистая структура (фиг. 5). На фиг. 6, 7, 9 и 10 представлены структуры отожженных сплавов, содержащих соответственно 25.0, 30.0, 50.0 и 60.0 ат. % палладия; эти сплавы, а также и все остальные, микроструктура которых здесь не приводится, в отожженном и закаленном состояниях имеют структуру твердых растворов.

Сопоставляя результаты примененных методов исследования сплавов системы палладий — медь, следует признать, что непосредственно после кристаллизации в системе наблюдается наличие непрерывного ряда твердых растворов. На это указывают и форма кривой плавкости, установленная Руэром [1], и формы кривых твердости (фиг. 2), и удельного электросопротивления (фиг. 3) для закаленных сплавов, представляющие собой плавные кривые с пологим максимумом. В полном соответствии со значениями твердости и удельного электросопротивления находятся и значения температурного коэффициента электросопротивления (фиг. 4). Кривая температурного коэффициента электросопротивления для закаленных сплавов является плавной кривой с пологим минимумом.

При охлаждении твердых растворов в сплавах состава от 10 до 30 и от 35 до 50 ат. % палладия происходят превращения, явно отмечаемые дифференциальным методом термического анализа. Максимумы температур превращений соответствуют 17 ат. % палладия и температуре около  $525^\circ$  и 38 ат. % палладия и температуре около  $650^\circ$  (фиг. 1). Кривые изменения твердости по Бринеллю (фиг. 2), электросопротивления (фиг. 3) и его температурного коэффициента (фиг. 4) для отожженных сплавов показывают наличие сингулярных точек-минимум на кривых твердости и электросопротивления и сингулярных точек-максимум на кривой температурного коэффициента точно при тех концентрациях компонентов, при которых лежат максимальные температуры превращений в твердом состоянии (фиг. 1). Эти составы отвечают химическим соединениям  $PdCu_5$  и  $Pd_3Cu_5$ .

Следует отметить, что Борелиус, Иогансон и Линде [6] еще в 1928 г. при рентгеновском исследовании сплавов системы палладий — медь установили, что сверхструктурные линии на дебаеграммах, наиболее сильно выраженные при 17 ат. % палладия, исчезают при 10 ат. % и едва заметны

при содержании палладия больше 25 %. Эти данные являются серьезным подтверждением наличия установленного в настоящем исследовании существования химического соединения  $PdCu_5$  (16.66 ат. % палладия).

Что касается другого химического соединения,  $Pd_3Cu_5$ , установленного настоящим исследованием, то данные рентгеновского анализа Джонса и Сайкса [14] указывают на наличие упорядоченной объемно-центрированной кубической решетки у сплавов, лежащих около концентрации 40 ат. % палладия. В этой же области лежит и температурный максимум превращения, по данным Тейлора [12], исследовавшего изменение электросопротивления с температурой. Более тщательное исследование этой области диаграммы, произведенное в настоящей работе, показало, что сингулярные точки на кривых твердости, электросопротивления и его температурного коэффициента для отожженных сплавов лежат не у 40 ат. % палладия, а около 37 % и, следовательно, состав образующегося здесь химического соединения может быть выражен формулой  $Pd_3Cu_5$ . Таким образом, предполагавшееся ранее существование определенных химических соединений  $Cu_3Pd$  и  $CuPd$  следует считать неправильным. В действительности, образующиеся при охлаждении твердого раствора соединения отвечают формулам  $PdCu_5$  и  $Pd_3Cu_5$ .

### ВЫВОДЫ

Система палладий — медь исследована методами дифференциального термического анализа, твердости, электросопротивления и его температурного коэффициента.

Установлено, что при высоких температурах компоненты образуют непрерывный ряд твердых растворов, что подтверждается как термическим анализом, так и плавным характером изменения свойств закаленных сплавов при изменении состава. При охлаждении из твердого раствора образуются два определенных химических соединения:  $PdCu_5$  и  $Pd_3Cu_5$ . На существование этих соединений указывают как дифференциальный термический анализ сплавов, так и диаграммы свойств. На кривой твердости по Бринеллю и на кривой удельного электросопротивления отожженных сплавов составам химических соединений отвечают сингулярные точки-минимум. На кривой температурного коэффициента электросопротивления отожженных сплавов тем же составам отвечают сингулярные точки-максимум. Существование предполагавшихся ранее химических соединений  $PdCu_3$  и  $PdCu$  настоящим исследованием не подтверждилось.

Поступило в редакцию  
17 сентября 1948 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. R. Ru e g. Z. f. anorg. u. allg. Chem. 51, 223 (1906).
2. S. Holgersson u. E. Sedström. Ann. d. Physik 75, 143 (1924).
3. C. Johansson. Ann. d. Physik 76, 445 (1925).
4. C. Johansson u. J. Linde. Ann. d. Physik 78, 439 (1925).
5. C. Johansson u. J. Linde. Ann. d. Physik 82, 449 (1927).
6. G. Borelius, C. Johansson u. J. Linde. Ann. d. Physik 86, 291 (1928).
7. B. Svensson. Ann. d. Physik 14, 699 (1932).
8. J. Linde. Ann. d. Physik 15, 249 (1932).
9. H. Seemann. Z. f. Metallkunde 24, 299 (1932).
10. H. Seemann. Z. f. Physik 84, 557 (1933).
11. H. Seemann. Z. f. Physik 88, 14 (1934).
12. R. Taylor. J. Inst. Met. (London) 54, 255 (1934).
13. П. С. Белоногов. Металлург № 6, 92 (1936).
14. F. Jones a. C. Sykes. J. Inst. Met. (London) 65, 419 (1939).
15. W. Köster. Z. f. Metallkunde 32, 145 (1940).
16. С. Сидоров. Ж. эксп. и теор. физики 16, 629 (1946).