

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЛАТИНА — СЕРЕБРО — ПАЛЛАДИЙ

До настоящего времени никаких литературных данных о диаграмме состояний системы платина — серебро — палладий и свойствах этих сплавов в литературе не имеется.

Двойные системы платина — серебро, платина — палладий и серебро — палладий подвергались неоднократному изучению.

Система серебро — платина впервые была изучена Деринкелем в 1907 г. [1], методом термического анализа, причем им была установлена диаграмма плавкости системы, с перитектикой и ограниченными твердыми растворами со стороны серебра и платины.

Курнаковым и Немиловым в 1928 г. [2] были исследованы твердость по Бринеллю, микроструктура, электросопротивление и его температурный коэффициент сплавов серебра с платиной.

Иоганссон и Линде в 1930 г. [3] методами электросопротивления и рентгеноструктурного анализа уточнили положение границ твердых растворов: богатого серебром и богатого платиной. Авторами было высказано предположение о наличии в системе, в сплавах с содержанием около 50 ат. % платины и около 80 ат. % платины — областей с упорядоченным расположением атомов. Упорядочение появляется при температуре около 750°, при охлаждении сплавов гетерогенных при более высокой температуре. Этим предполагаемым соединениям авторы приписывают формулы AgPt и AgPt_3 . Однако наличие этих гомогенных участков внутри гетерогенной области не установлено другими методами исследования. Изгибы на кривых электросопротивления, приводимых Иоганссоном и Линде, вследствие недостаточной продолжительности отжига должны быть отнесены скорее за счет неравновесного состояния сплавов, чем за счет образования определенных химических соединений. Кроме того, ни в одной из исследованных до сего времени металлических систем не наблюдалось образования гомогенных областей из гетерогенных при охлаждении, в то время как обратный переход наблюдается весьма часто.

При исследовании системы серебро — платина Курнаковым и Немиловым [2] никаких указаний на наличие химических соединений в ряду отожженных сплавов гетерогенной области обнаружено не было.

В 1943 г. Шнейдер и Эш [4] произвели исследование системы платина — серебро методами рентгеновского анализа, электросопротивления и микроструктуры. Авторами, главным образом на основании данных рентгеновского анализа, дана очень сложная, но мало обоснованная часть диаграммы, относящаяся к твердому состоянию; высказано утверждение наличия химических соединений Ag_3Pt , AgPt , AgPt_3 и признаков еще одного соединения в области богатого платиной твердого раствора. Отжиг сплавов производился в вакууме, в течение очень длительных сроков (до 13 месяцев), что могло вызвать испарение серебра из сплавов, искажающее данные рентгеновского анализа. Вследствие малой достоверности выводов Шнейдер

и Эш [4], в настоящей работе принята диаграмма состояний системы серебро — платина (фиг. 1), построенная на основании данных Деринкеля [1] и Иогансона и Линде [3].

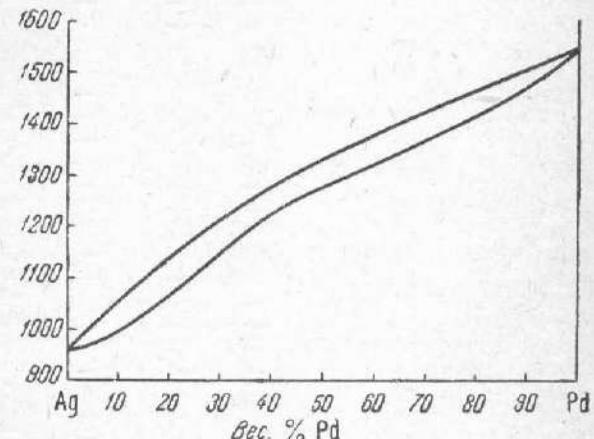
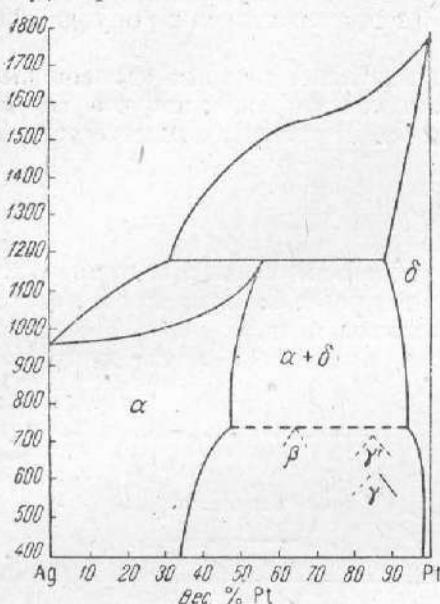
Диаграмма состояний системы серебро — палладий была установлена рядом исследований различных авторов.

Руэр [5] установил диаграмму состояний системы методом термического анализа, приведенную на фиг. 2. Исследование твердости по Бринеллю и микроструктуры было произведено Роде [6]. Кривая твердости, полученная Роде, представляет собою кривую с пологим максимумом, что, в полном соответствии с данными Руэр [5] по термическому анализу, указывает на наличие в системе непрерывного ряда твердых растворов.

Исследование электропроводности и температурного коэффициента электросопротивления, произведенное Гейбелем [7], исследование структуры решетки сплавов, произведенное Штенцелем и Веертсом [8], Крюгером и Закловским [9] и другими авторами, подтвердили наличие в системе серебро — палладий непрерывного ряда твердых растворов.

Фиг. 1. Диаграмма состояний системы серебро — платина

Сплавы палладия с платиной были исследованы Гейбелем [7] методами электросопротивления и его температурного коэффициента. Кривые этих свойств характерны для непрерывного ряда твердых растворов. Таммани и Роха [10], исследовавшие эту систему методом твердости, высказали предположение о возможности превращений в образующемсяся при кристаллизации непрерывном ряде твердых растворов. Однако подробное исследование системы платина — палладий, произведенное В. А. Немиловым и М. М. Пуцыкиной [11] методами твердости по Бринеллю, микроструктуры, электросопротивления, его температурного коэффициента и термоэлектродвижущей силы, установило, что компоненты образуют непрерывный ряд твердых растворов и никаких превращений в твердом состоянии нет. Настоящее исследование тройной системы платина — серебро — палладий произведено методами термического анализа, микроструктуры, электросопротивления, его температурного коэффициента и твердости по Бринеллю.



Фиг. 2. Диаграмма состояний системы серебро — палладий

Исходными материалами для приготовления сплавов служили дважды аффинированная платина с содержанием примесей до 0,01 %, такой же чистоты губчатый палладий и электролитическое серебро с содержанием 99,999 % серебра.

Приготовление сплавов весом 25—30 г производилось в корундизовых тиглях в печи высокой частоты.

Произведенными контрольными анализами некоторых сплавов было установлено, что угар при плавке был столь незначителен, что не мог влиять на величину измеряемых свойств. Поэтому анализы остальных сплавов не производились.

I. ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Запись кривых охлаждения сплавов производилась при помощи платино-платинородиевой термопары и пиromетра И. С. Курнакова. Расплавление сплавов производилось в криптолтайной печи.

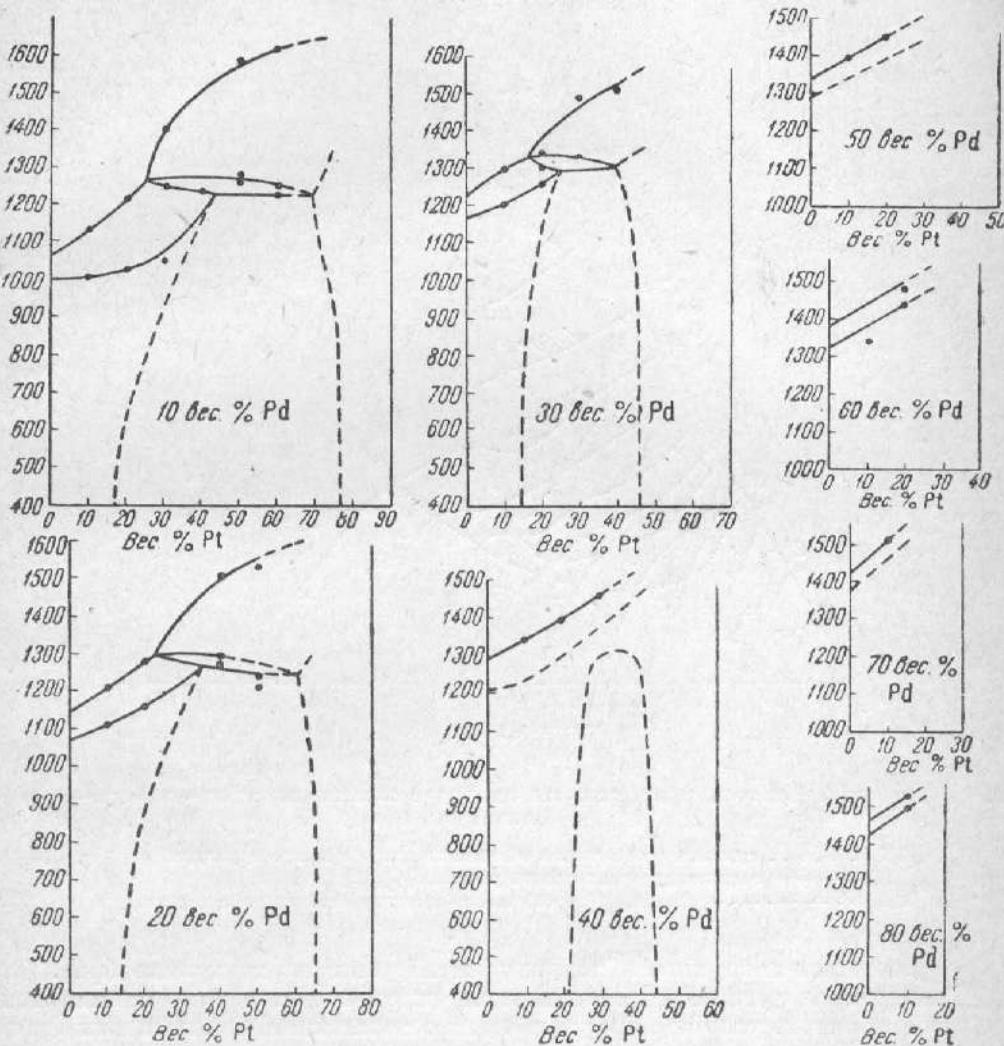
Полученные результаты приведены в табл. 1 и на диаграммах

Таблица 1

Pd	Pt	Ag	Состав (вес. %)		Температура начала затвердевания (в °C)		Температура конца затвердевания (в °C)	Твердость по Бринеллю (kg на mm²)	Удельное электросопротивление в микроомах при		Температурный коэффициент электросопротивления α_{40-100}	Температура отката (в °C)
			начала	конца	25°	100°			25°	100°		
10	10	80	1125	—	—	1000	41.5	16.59	19.15	2.70	900	
10	20	70	1200	—	—	1025	56.0	33.46	34.01	2.60	900	
10	30	60	1400	—	1250	1050	34.5	52.05	53.18	2.92	900	
10	40	50	—	—	1234	—	41.0	52.26	54.05	4.46	900	
10	50	40	1590	1280	1267	—	75.5	43.70	44.54	2.56	1100	
10	60	30	1615	1255	1237	—	57.5	42.56	44.35	5.67	1100	
10	70	20	—	—	—	—	82.0	38.95	41.05	7.30	1100	
10	80	10	—	—	—	—	78.0	35.28	36.50	7.01	1200	
20	10	70	1209	—	—	1110	28.5	24.78	25.74	5.23	900	
20	20	60	—	1280	—	1160	58.0	43.17	44.27	4.98	900	
20	30	50	—	1295	1278	—	60.0	51.03	52.27	3.27	900	
20	40	40	1513	1290	1280	—	81.0	46.79	48.08	3.71	900	
20	50	30	1530	1248	1210	—	54.0	42.28	43.20	2.92	1100	
20	60	20	—	—	—	—	79.5	43.87	45.64	5.46	1100	
20	70	10	—	—	—	—	95.0	39.3	41.32	6.97	1200	
30	10	60	1295	—	—	1200	36.0	38.17	38.92	2.02	1000	
30	20	50	—	1340	1300	1260	65.0	51.20	51.62	1.10	1000	
30	30	40	1487	1338	—	—	44.0	43.55	44.59	3.21	1000	
30	40	30	1508	1310	—	—	51.0	44.25	44.50	0.60	1000	
30	50	20	—	—	—	—	105.5	43.67	45.96	7.12	1100	
30	60	10	—	—	—	—	108.0	43.67	45.55	5.84	1200	
40	10	50	1338	—	—	1235	51.5	55.16	55.50	0.85	1000	
40	20	40	1395	—	—	—	73.5	49.70	50.12	1.13	1000	
40	30	30	1465	—	—	—	76.5	44.89	47.17	6.29	1100	
40	40	20	—	—	—	—	116.0	42.91	43.49	5.02	1100	
40	50	10	—	—	—	—	70.0	48.23	50.41	6.12	1200	
50	10	40	1399	—	—	—	73.0	55.10	55.19	0.22	1100	
50	20	30	1452	—	—	—	93.5	54.40	55.22	2.02	1100	
50	30	20	—	—	—	—	117.5	56.99	57.68	3.80	1100	
50	40	10	—	—	—	—	77.5	43.35	45.49	6.69	1200	
60	10	30	1460	—	—	1340	46.5	52.24	52.78	1.38	1100	
60	20	20	1477	—	—	1440	89.5	49.58	50.17	1.59	1100	
60	30	10	—	—	—	—	73.0	39.98	41.87	6.41	1200	
70	10	20	1512	—	—	1500	48.5	41.91	43.44	4.93	1200	
70	20	10	—	—	—	—	76.0	35.75	38.25	9.57	1200	
80	10	10	1523	—	—	1500	52.0	27.05	29.10	1.04	1200	

плавкости разрезов тройной системы с постоянным содержанием палладия в каждом разрезе (фиг. 3).

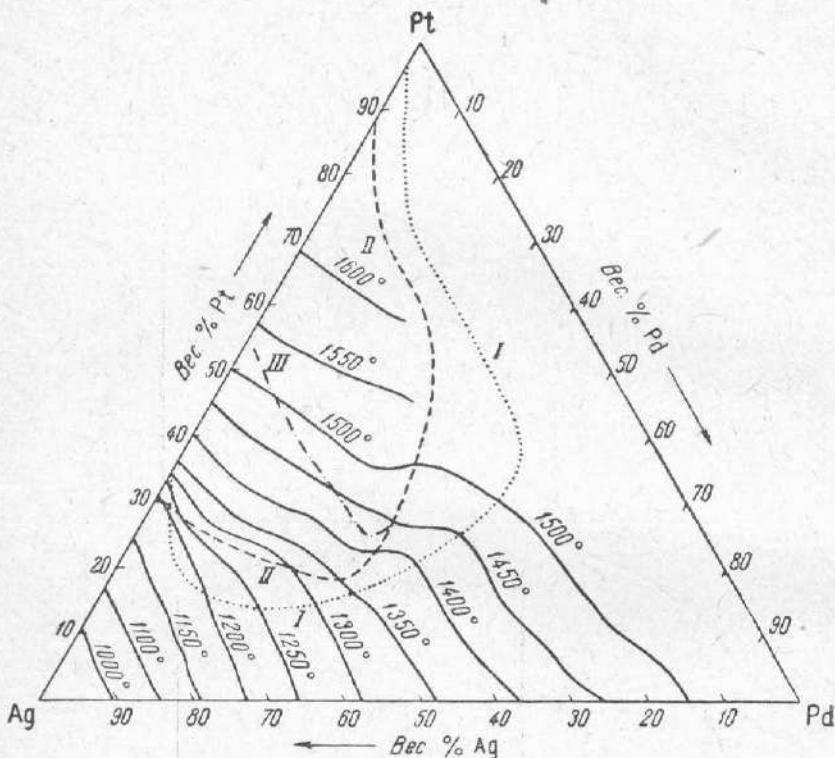
Как видно из диаграмм (фиг. 3), при содержании палладия 10, 20 и 30 вес. %, характер диаграммы плавкости системы серебро — платина сохраняется; это диаграммы перитектического характера, с гетерогенной областью в средней части разреза и твердыми растворами по сторонам.



Фиг. 3. Термические диаграммы разрезов с постоянным содержанием палладия

Границы гетерогенной области вследствие очень малого термического эффекта при выделении второй фазы из пересыщенного твердого раствора не могли быть установлены термическим методом и определялись методом микроструктуры. По мере увеличения содержания палладия, распространность гетерогенной области сужается за счет расширения областей твердых растворов. В разрезе с 40 вес. % палладия области твердых растворов, лежащих у сторон двойных систем серебро — палладий и платина — палладий, при высоких температурах сливаются, и образование сравнительно узкой гетерогенной области происходит при распадении существую-

щего при высоких температурах твердого раствора. При содержании палладия в 50 вес. % и больше все сплавы застывают как твердые растворы. К сожалению, высокая температура плавления сплавов, богатых платиной и палладием, не позволила изучать термическим методом сплавы, лежащие около бинарной системы платина — палладий.



Фиг. 4. Диаграмма поверхности ликвидус системы платина — серебро — палладий

I граница гетерогенной области по данным микроструктуры
II — — — граница перитектической реакции
III - - - - - граница гетерогенной области при температуре перитектики

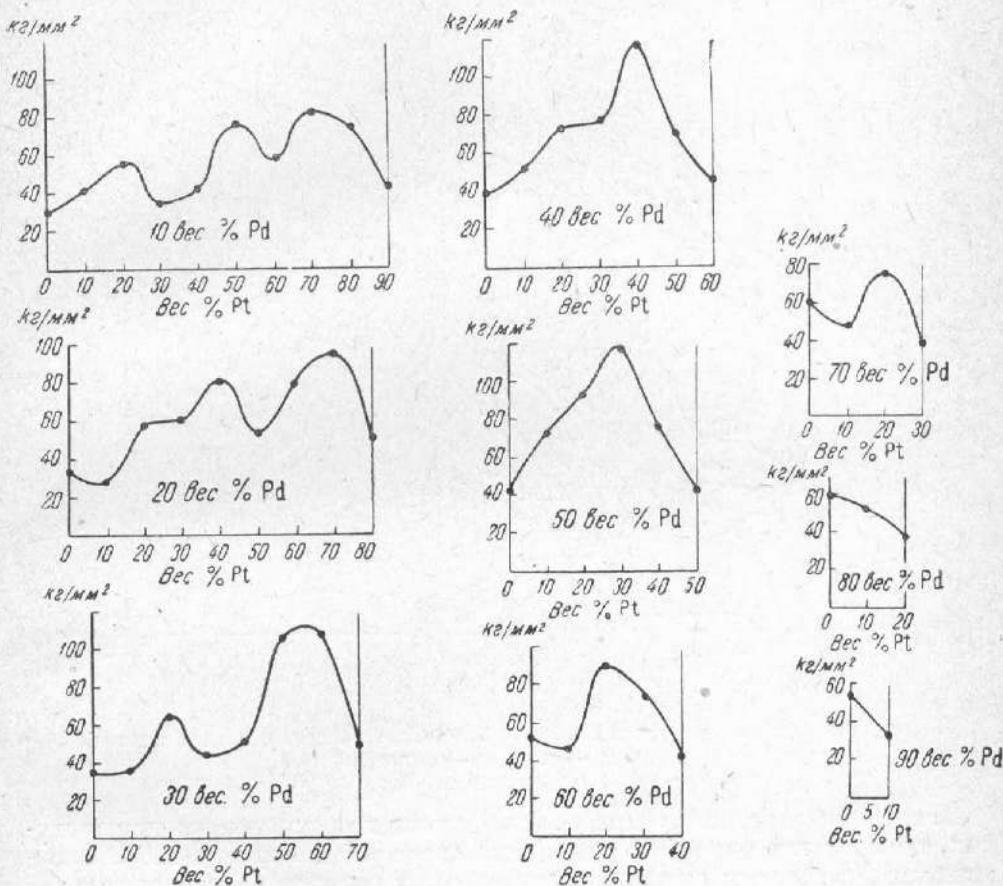
Изотермы поверхности ликвидус приведены на диаграмме (фиг. 4). Температура начала кристаллизации сплавов постепенно повышается из серебряного угла по мере увеличения содержания платины и палладия. На фиг. 4 пунктирными линиями нанесены распространение гетерогенной области в тройной системе, граница кристаллизации перитектики и граница гетерогенной области при температуре перитектики.

Диаграммы (фиг. 3 и 4) показывают, что наличие гетерогенной области в системе серебро — платина вызывает появление обширной гетерогенной области в системе серебро — платина — палладий.

II. ТВЕРДОСТЬ ПО БРИНЕЛЛЮ

Сплавы, служившие для термического анализа, применялись и для изучения твердости по Бринеллю. После надлежащей подготовки сплавов для измерения твердости, все сплавы были подвергнуты отжигу. Темпера-

туры отжига сплавов приведены в табл. 1, в которой приведены также и числа твердости по Бринеллю для отожженных сплавов. Твердость определялась при нагрузке 250 кг и диаметре шарика 10 мм. Следует отметить, что в сплавах, содержащих серебро и платину одновременно, наблюдается очень замедленный процесс диффузии, вследствие чего сплавы после отжига в течение 30 суток показывали при изучении микроструктуры еще не закончившийся процесс выравнивания концентраций.

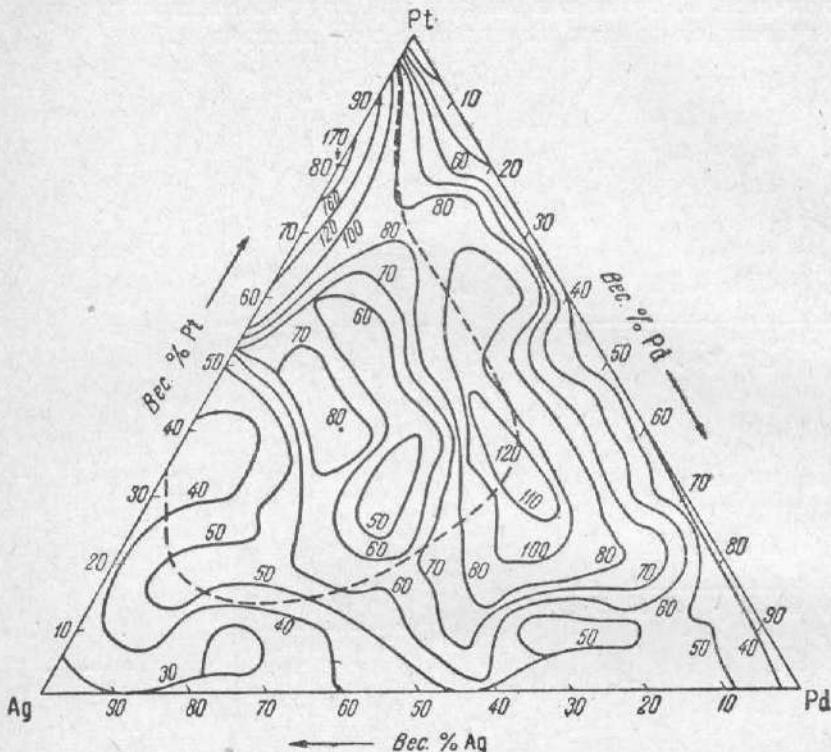


Фиг. 5. Диаграмма твердости по Бринеллю в кг на кв. мм разрезов с постоянным содержанием палладия

Все сплавы были подвергнуты отжигу в течение 45 суток; после такого длительного отжига видимых остатков незаконченной диффузии обнаружено не было.

На фиг. 5 представлены диаграммы изменения твердости по Бринеллю в разрезах тройной диаграммы, параллельных стороне серебро — платина, с постоянным содержанием палладия в каждом разрезе. Следует отметить, что в разрезах, содержащих, кроме твердых растворов, также и механические смеси твердых растворов, в области механических смесей не только не наблюдается прямолинейного изменения твердости, что обязательно для механических смесей бинарных систем и что, как показали наши исследования тройных систем, никогда не наблюдается в гетерогенных областях тройных систем, но эти линии изменения твердости имеют весьма сложный вид (см. разрезы с 10, 20 и 30% палладия, фиг. 5). Сложной форме

кривых в этих разрезах в настоящее время не может быть дано вполне удовлетворительного объяснения; возможно, что даже 45 суток отжига недостаточно для приведения гетерогенных сплавов полностью в равновесное состояние. Линии одинаковой твердости по Бринеллю — изосклеры для всей системы — приведены на диаграмме (фиг. 6).



Фиг. 6. Диаграмма твердости по Бринеллю в кг на кв. мм системы платина — серебро — палладий

Измерение твердости сплавов, закаленных при различных температурах, не показало заметного изменения твердости по сравнению с отожженными, и поэтому данные для закаленных сплавов не приводятся.

III. ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ И ЕГО ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ

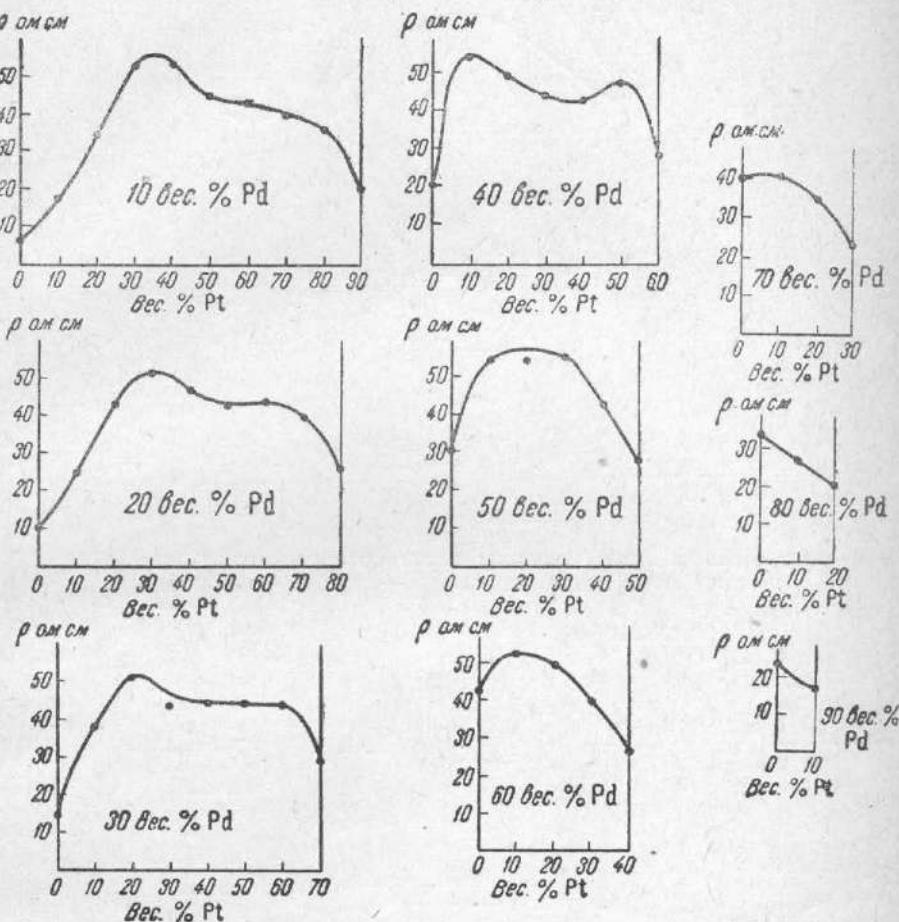
Образцы для измерения электросопротивления приготавливались путем насасывания в фарфоровые трубочки, прокатки на ручном прокатном станке и протяжки через победитовые глазки до диаметра 0.8—1.0 мм.

Все образцы были отожжены при температурах, указанных в таблице, так же как и образцы для определения твердости, в течение 45 суток.

Измерение электросопротивления производилось при помощи потенциометра, причем образцы помещались в масляные термостаты.

Результаты измерений при 25 и 100° приведены в таблице и на диаграмме (фиг. 7), на которой представлено изменение электросопротивления в разрезах тройной диаграммы, с постоянным содержанием палладия. В разрезах, относящихся к области тройной диаграммы, где все сплавы являются твердыми растворами, электросопротивление изменяется плавно, кривые обладают пологими максимумами (разрезы с 50, 60, 70, 80, 90% палладия)

В разрезах, где наряду со сплавами — твердыми растворами имеются и гетерогенные, двухфазные сплавы (разрезы с 10, 20, 30 и 40 % палладия), в средних частях разрезов, в гетерогенной области, электросопротивление изменяется по более сложным кривым. Так, в разрезе с постоянным со-

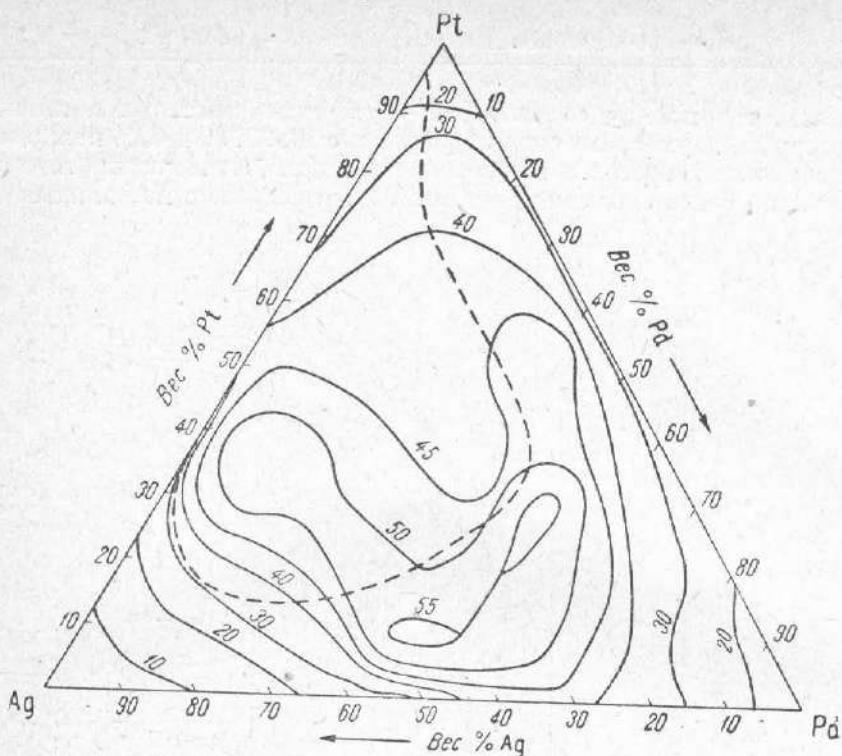


Фиг. 7. Диаграмма удельного электросопротивления (при 25° в микроомах) разрезов с постоянным содержанием палладия

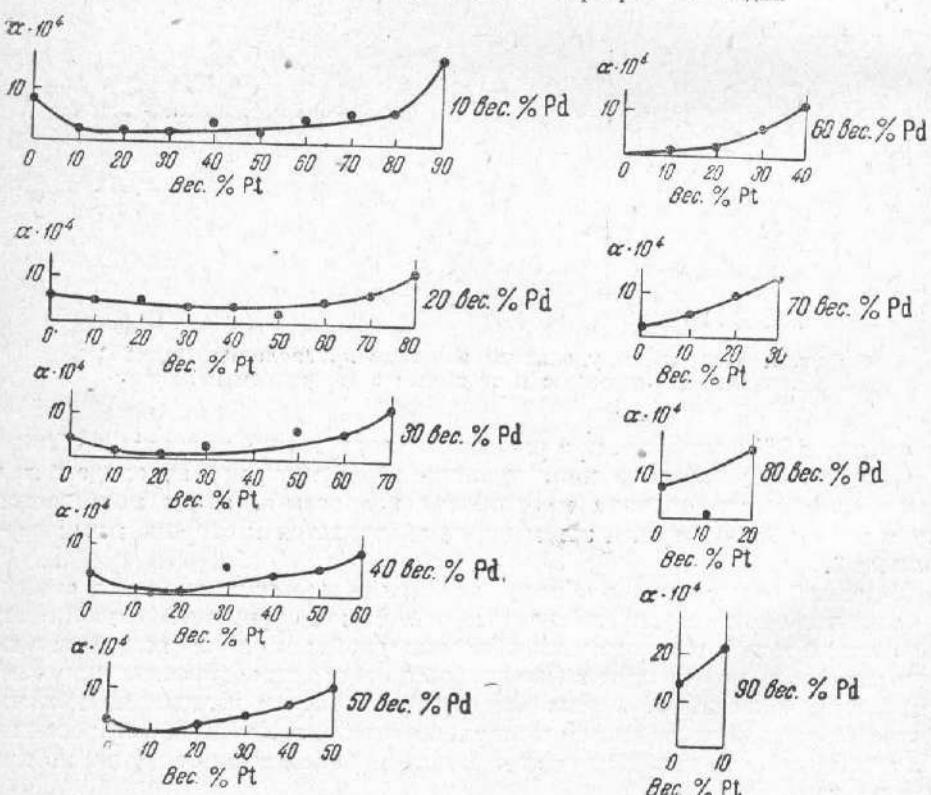
держанием 10 % палладия, при увеличении содержания платины, в области твердых растворов электросопротивление возрастает, при переходе в гетерогенную область сначала продолжает возрастать, затем понижается, давая пологий минимум, и затем вновь понижается к стороне платина — палладий.

В данной системе вновь обнаруживается различие в изменении свойств в разрезах тройных металлических систем по сравнению с двойными. В то время как в гетерогенных областях двойных систем вследствие постоянства состава отдельных фаз твердость и электросопротивление изменяются прямолинейно, в разрезах тройных систем вследствие наличия третьего компонента меняется также и состав фаз. Поэтому в гетерогенных областях разрезов тройных систем изменение свойств происходит по кривым линиям.

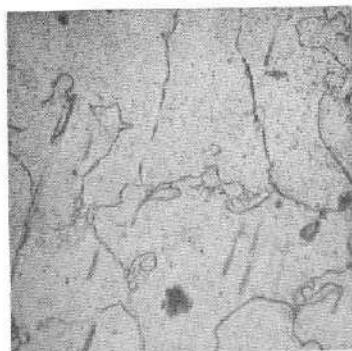
Линии одинакового электросопротивления приведены на диаграмме (фиг. 8). Электросопротивление, являясь небольшим у сплавов, лежащих



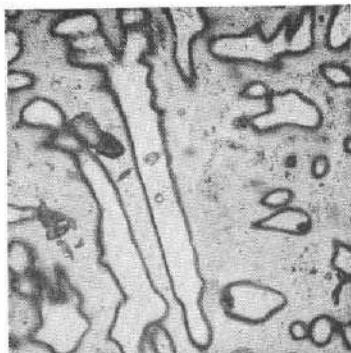
Фиг. 8. Диаграммы удельного электросопротивления (при 25° в микроомах) системы платина — серебро — палладий



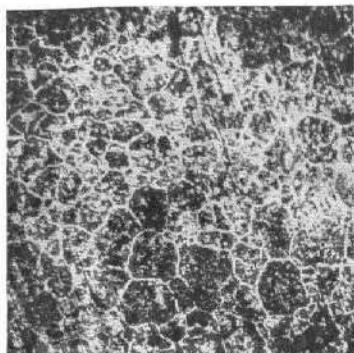
Фиг. 9. Диаграммы температурного коэффициента электросопротивления $\alpha_{25-100} \cdot 10^4$ разрезов с постоянным содержанием палладия



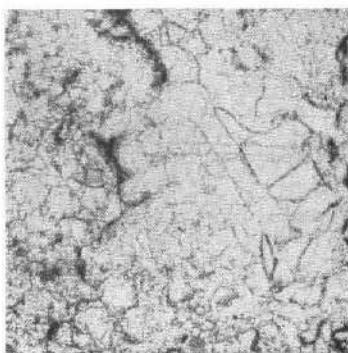
Фиг. 11. Pd — 10%, Pt — 10%,
Ag — 80%. Отож. 900°. × 150



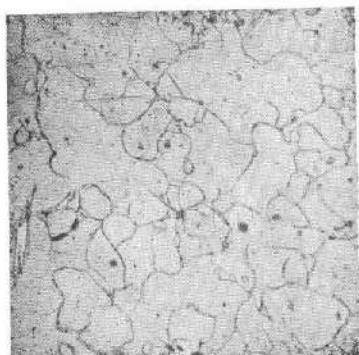
Фиг. 12. Pd — 10%, Pt — 20%,
Ag — 70%. Отож. 900°. × 200



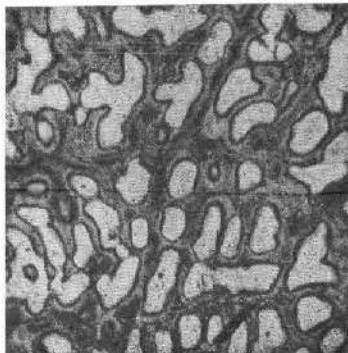
Фиг. 13. Pd — 10%, Pt — 70%,
Ag — 20%. Отож. 1100°. × 200



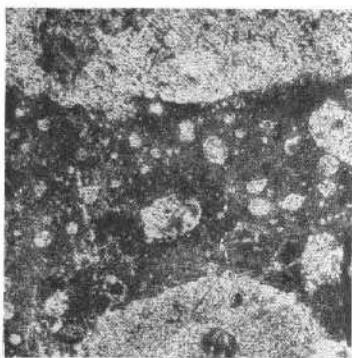
Фиг. 14. Pd — 10%, Pt — 80%,
Ag — 10%. Отож. 1200°. × 150



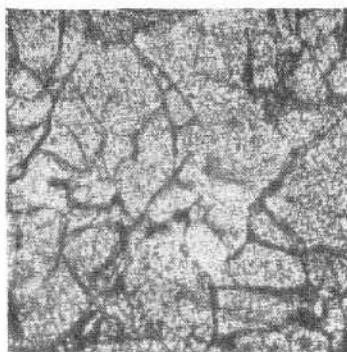
Фиг. 15. Pd — 20%, Pt — 20%,
Ag — 70%. Отож. 900°. × 150



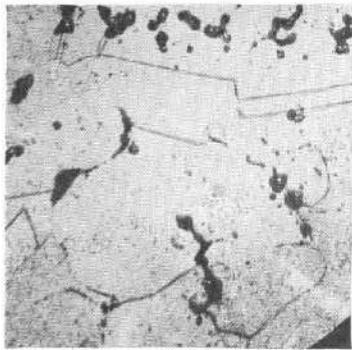
Фиг. 16. Pd — 20%, Pt — 20%,
Ag — 60%. Отож. 900°. × 200



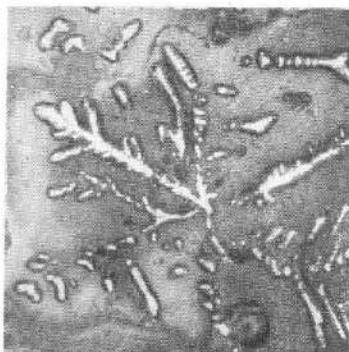
Фиг. 17. Pd — 20%, Pt — 60%,
Ag — 20%. Отож. 1100°. $\times 200$



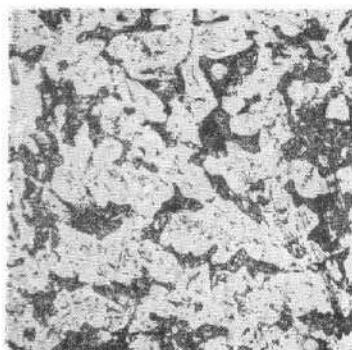
Фиг. 18. Pd — 20%, Pt — 70%,
Ag — 10%. Отож. 1200°. $\times 150$



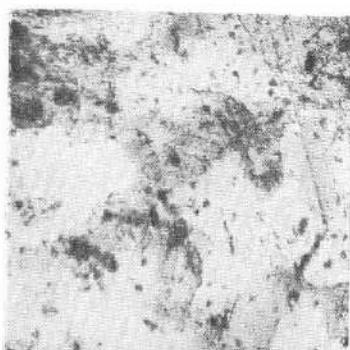
Фиг. 19. Pd — 30%, Pt — 10%,
Ag — 60%. Отож. 1000°. $\times 200$



Фиг. 20. Pd — 30%, Pt — 20%,
Ag — 50%. Отож. 1000°. $\times 200$



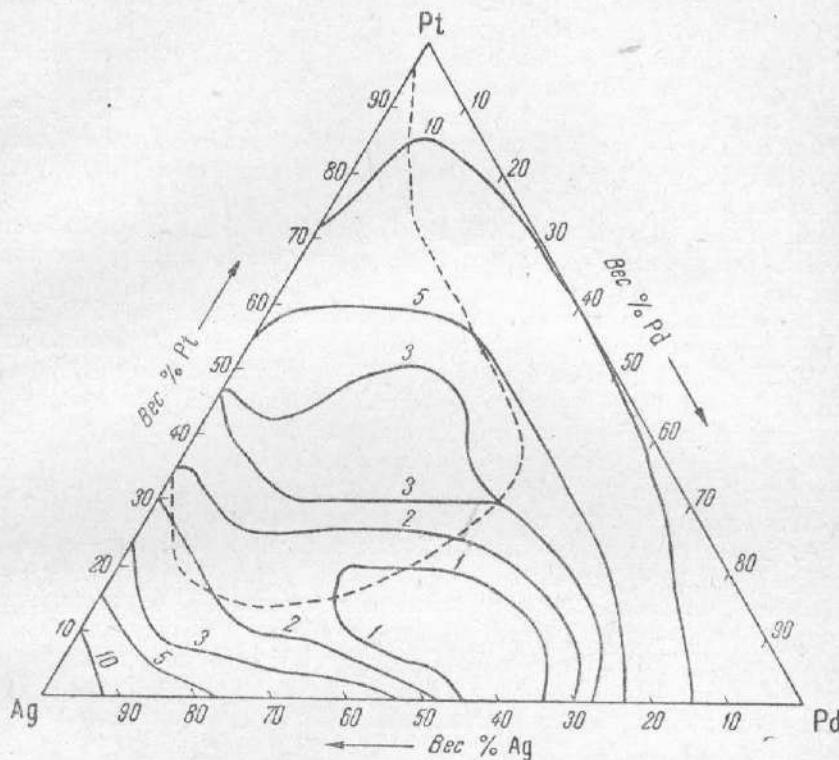
Фиг. 21. Pd — 30%, Pt — 50%,
Ag — 20%. Отож. 1100°. $\times 200$



Фиг. 22. Pd — 30%, Pt — 60%,
Ag — 10%. Отож. 1200°. $\times 200$

в углах диаграммы, при увеличении содержания других компонентов возрастает. Максимум электросопротивления, сравнительно небольшой (около 55 микроом), лежит недалеко от границы гетерогенности.

По данным электросопротивления был вычислен его температурный коэффициент для интервала 25—100°. Результаты приведены в таблице



Фиг. 10. Диаграмма температурного коэффициента электросопротивления $\alpha_{25-100^\circ} \cdot 10^4$ системы платина — серебро — палладий

и на диаграммах (фиг. 9). Температурный коэффициент электросопротивления во всех разрезах изменяется по кривым с пологими минимумами. На фиг. 10 приведены линии одинакового температурного коэффициента электросопротивления в тройной системе.

IV. МИКРОСТРУКТУРА

Исследование микроструктуры производилось на тех же образцах сплавов, которые служили для термического анализа и изучения твердости и электросопротивления. Все сплавы были подвергнуты отжигу при различных, в зависимости от температуры плавления, температурах, указанных в таблице. Продолжительность отжига составляла 45 суток, так как произведенное после 30 суток исследование микроструктуры показало, что процессы диффузии еще не закончились и структурное равновесие не наступило. Травление сплавов производилось царской водкой различной концентрации.

Исследование микроструктуры позволило установить в системе границу гетерогенной области и твердых растворов.

На фиг. 11—28 представлены микрофотографии сплавов. Составы указаны в весовых процентах.

Фиг. 11 относится к сплаву, содержащему 10% Pd, 10% Pt и 80% Ag. Этот сплав — типичный твердый раствор. Сплав состава 10% Pd, 20% Pt и 70% Ag (фиг. 12) ясно обнаруживает наличие двух фаз — основной, темной, более богатой серебром, и светлой, более богатой платиной.

При дальнейшем увеличении содержания платины в ряду сплавов с постоянным содержанием палладия 10%, сплавы двухфазные, вплоть до сплава с 10% Pd, 70% Pt и 20% Ag (фиг. 13).

Следующий сплав, состава 10% Pd, 80% Pt и 10% Ag состоит из одной фазы, богатого платиной твердого раствора (фиг. 14).

В следующем разрезе, с постоянным содержанием палладия 20%, сплав с 10% Pt и 70% Ag — твердый раствор (фиг. 15), в следующем же сплаве, состава 20% Pd, 20% Pt и 60% Ag, резко обозначаются две фазы (фиг. 16). Сплав состава 20% Pd, 60% Pt и 20% Ag — двухфазный (фиг. 17); следующий за ним сплав, содержащий 20% Pd, 70% Pt и 10% Ag (несколько перетравленный), состоит из одной фазы, твердого раствора, богатого платиной (фиг. 18).

Разрез диаграммы с постоянным содержанием палладия 30%, так же как и предыдущие, пересекает гетерогенную область диаграммы. Сплав состава 30% Pd, 10% Pt и 60% Ag (фиг. 19) — однофазный твердый раствор. В сплаве с 30% Pd, 20% Pt и 50% Ag (фиг. 20) на темном фоне избыточного твердого раствора видны светлые дендриты первично выделившегося, более богатого платиной твердого раствора.

Сплав, содержащий 30% Pd, 50% Pt и 20% Ag (фиг. 21), тоже двухфазный, состоит преимущественно из богатого платиной светлого твердого раствора. Наконец, сплав состава 30% Pd, 60% Pt и 10% Ag — однородный твердый раствор (фиг. 22).

В разрезе с постоянным содержанием палладия 40% гетерогенная область по сравнению с предыдущими разрезами значительно сужена. Сплав состава 40% Pd, 20% Pt и 40% Ag (фиг. 23) — однородный твердый раствор.

Сплавы того же разреза, содержащие 30 и 40% Pt, в отожженном состоянии явно двухфазные.

Вследствие того, что термический анализ сплавов этого разреза не дал указаний на перитектический характер диаграммы, следовало заключить, что гетерогенная область при высоких температурах замыкается.

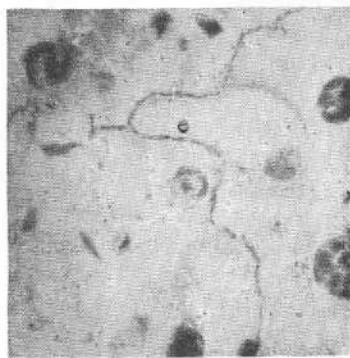
С целью выяснения температур, при которых происходит исчезновение гетерогенности сплавов, была предпринята закалка сплавов. Сплавы нагревались в каскадной печи, выдерживались при нужной температуре в течение часа и закаливались в холодной воде.

На фиг. 24 представлена микроструктура сплава состава: 40% Pd, 30% Pt и 30% Ag, закаленного при 1200°. Структура явно гетерогенная. Тот же сплав после закалки при 1350° оказался однофазным (фиг. 25). Сплав, содержащий 40% Pd, 40% Pt и 20% Ag, после закалки при 1200° остался гетерогенным (фиг. 26), каким был и в отожженном состоянии.

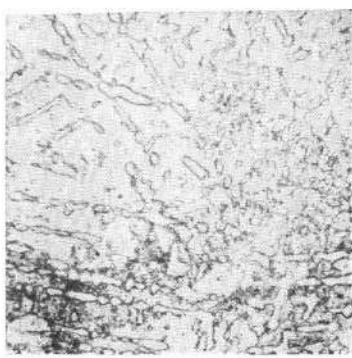
Нагрев того же сплава до 1350° вызвал взаимное растворение фаз, после закалки этот сплав — однородный твердый раствор (фиг. 27). Сплав состава 40% Pd, 50% Pt и 10% Ag и в отожженном состоянии однородный твердый раствор (фиг. 28).

Все сплавы с содержанием палладия 50 и более процентов являются обычными твердыми растворами. Микроструктура их поэтому не приводится.

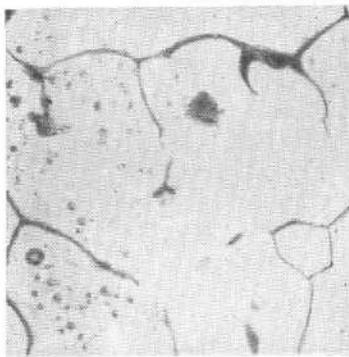
Исследование микроструктуры сплавов системы платина — серебро — палладий позволило установить границу гетерогенной области, существование которой вызывается наличием ограниченной растворимости в системе серебро — платина.



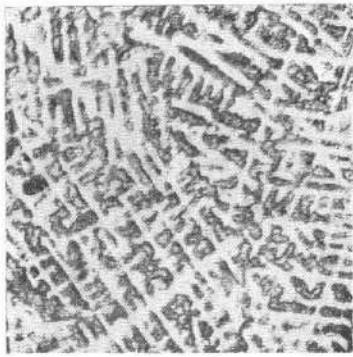
Фиг. 23. Pd — 40%, Pt — 20%,
Ag — 40%. Отож. 1000°. $\times 200$



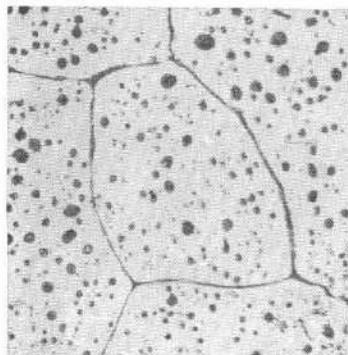
Фиг. 24. Pd — 40%, Pt — 30%,
Ag — 30%. Закал. 1200°. $\times 150$



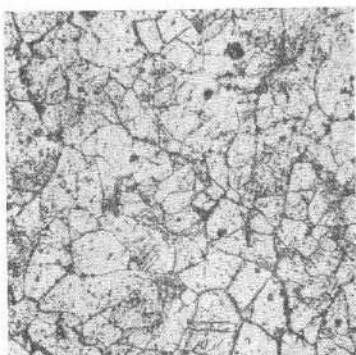
Фиг. 25. Pd — 40%, Pt — 30%,
Ag — 30%. Закал. 1350°. $\times 100$



Фиг. 26. Pd — 40%, Pt — 40%,
Ag — 20%. Закал. 1200°. $\times 150$



Фиг. 27. Pd — 40%, Pt — 40%,
Ag — 20%. Закал. 1350°. $\times 150$



Фиг. 28. Pd — 40%, Pt — 50%,
Ag — 10%. Отож. 1200°. $\times 200$

ВЫВОДЫ

Исследование системы платина—серебро—палладий произведено методами термического анализа, твердости, микроструктуры, электросопротивления и его температурного коэффициента. Исследованием установлена диаграмма состояний системы. Гетерогенная область перитектической диаграммы системы серебро — платина имеет распространение и в тройную систему, замыкаясь лишь при содержании палладия около 45% (фиг. 4).

Процессы выравнивания концентраций в сплавах вследствие диффузии при отжиге происходят исключительно медленно; лишь после отжига в течение 45 суток было установлено структурное равновесие в большинстве сплавов.

Изменение твердости по Бринеллю в разрезах тройной диаграммы, пересекающих гетерогенную область, происходит по сложным кривым; возможно, что причиной этого является недостижение истинного равновесия даже при столь длительном отжиге (фиг. 5). Электросопротивление и его температурный коэффициент как менее чувствительные чем твердость свойства изменяются по плавным кривым (фиг. 7).

Исследование микроструктуры позволило установить границу гетерогенной области и твердых растворов.

Поступило в редакцию

31 января 1947 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. F. Doerinkel. Z. f. anorg. u. allg. Chem. **54**, 338 (1907).
2. Н. С. Курнаков и В. А. Немилов. Изв. Ин-та платины, вып. 4, 306, 1926; Z. f. anorg. u. allg. Chem. **168**, 339 (1928).
3. C. Johansson u. Lindé. Ann. d. Physik. **6**, 4 (1930).
4. A. Schneider u. U. Esch. Z. f. Elektrochemie **49**, № 2 (1943).
5. R. Rueg. Z. f. anorg. u. allg. Chem. **51**, 315 (1906).
6. Е. Я. Роде. Изв. Сектора платины, вып. 13, 167 (1936).
7. W. Geibel. Z. f. anorg. u. allg. Chem. **70**, 240 (1911).
8. W. Stenzel u. J. Weerts. Festschrift z. 50-jähr. Bestehen d. Platinschmelze G. Siebert. Hanau, 1931.
9. F. Krüger u. A. Sacklowsky. Ann. d. Physik. **78**, 72 (1925).
10. G. Tammann u. H. Rocha. Festschrift z. 50-jähr. Bestehen d. Platinschmelze G. Siebert. Hanau, (1931).
11. В. А. Немилов, А. А. Рудницкий, Т. А. Видусова и М. М. Пуцкина. Изв. Сектора платины, вып. 20, 176 (1947).