

В. А. НЕМИЛОВ, Т. А. ВИДУСОВА и В. К. НИКИТИНА

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ПАЛЛАДИЙ — НИКЕЛЬ — ХРОМ

До настоящего времени литературных данных о природе тройных сплавов палладия с никелем и хромом не было. Двойные системы, образующие тройную, исследованы достаточно полно. На фиг. 1 на сторонах концентрического треугольника системы Pd — Ni — Cr представлены диаграммы состояний систем Pd — Ni, Pd — Cr и Ni — Cr по современным литературным данным. Установленная Френкелем и Штерном [1] термическая диаграмма системы палладий — никель (фиг. 1) указывает на наличие непрерывного ряда твердых растворов в этой системе. Кривая плавкости образует минимум в области около 60 весовых процентов палладия. Исследования твердости по Бринеллю и температурного коэффициента электросопротивления, произведенные Григорьевым [2], подтвердили вывод Френкеля и Штерна о неограниченной взаимной растворимости никеля и палладия в твердом состоянии. Данные Френкеля и Штерна по диаграмме плавкости и данные А. Т. Григорьева по свойствам сплавов палладия с никелем были использованы нами в настоящей работе.

Диаграмма состояний системы палладий — хром (фиг. 1) представлена по данным Грубе и Кнабе [3]. По данным этих авторов, палладий с хромом образуют определенное химическое соединение Pd_2Cr_3 , дающее с палладием непрерывный ряд твердых растворов, а с хромом — механическую смесь с образованием эвтектики. Авторами также были исследованы твердость по Бринеллю и электропроводность. Данные этих авторов также были использованы в настоящей работе.

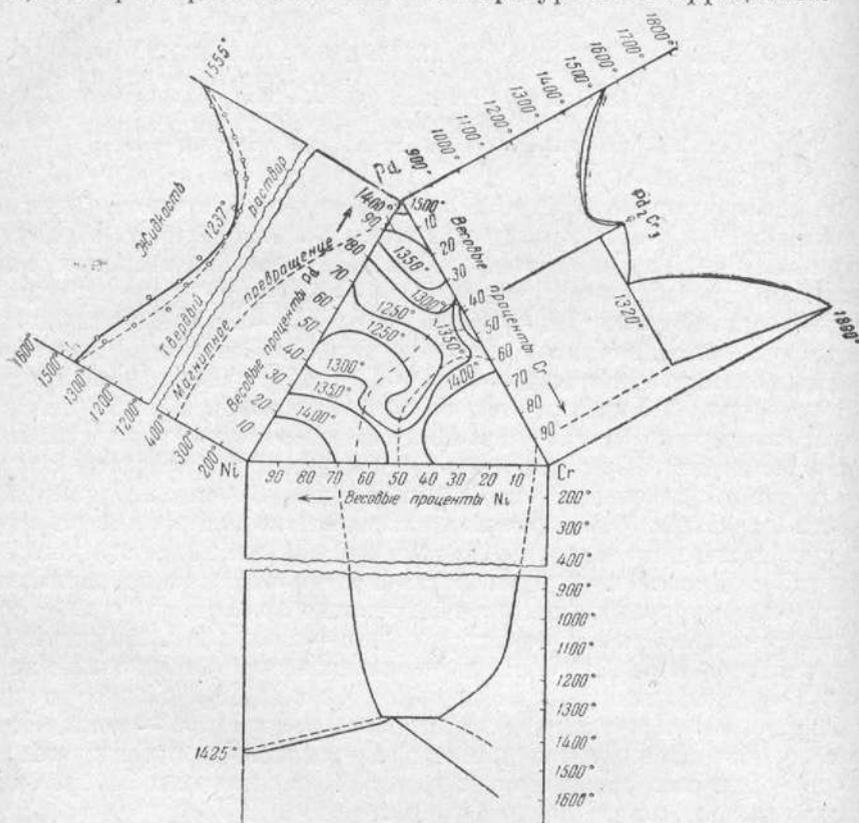
Диаграмма состояний никель — хром была исследована различными авторами.

В настоящее время можно считать установленным, что никель и хром взаимодействуют по диаграмме эвтектического характера с эвтектической точкой, лежащей около 50 весовых процентов хрома, узкой областью гетерогенности при эвтектической температуре, расширяющейся при понижении температуры до 5% никеля со стороны хрома и до 30% хрома со стороны никеля. На фиг. 1 приведена диаграмма состояний по данным Маццуага [4] и Нисигори и Хамасуми [5].

Из характера диаграмм состояний бинарных систем палладий — никель, палладий — хром и никель — хром следует, что в тройной системе, ими образуемой, должно иметь место наличие обширной области тройных твердых растворов, богатых палладием, линии двойной эвтектики, идущей от эвтектической точки в системе никель — хром к эвтектической точке, образованной химическим соединением Pd_2Cr_3 и богатых хромом хромо-палладиевых твердых растворов, и областей механических смесей, лежащих по обеим сторонам эвтектической линии. Исследование тройной системы палладий — никель — хром представляет значительный теоретический интерес с точки зрения изучения на новом примере характера изменения физических свойств в области тройных твердых растворов, а также изучения характера изменения этих свойств в областях диаграммы,

где находятся эвтектическая линия и механические смеси фаз. Систематическое изучение физических свойств сплавов, образующих такого типа диаграмму, предпринято впервые.

Исследование тройной системы палладий — никель — хром произведено методами термического анализа, микроструктуры, твердости по Бригеллю, электросопротивления и его температурного коэффициента.



Фиг. 1. Диаграммы состояний системы Pd — Ni, Pd — Cr и Ni — Cr. Изотермы поверхности ликвидус системы Pd — Ni — Cr

Исходными материалами при изготовлении сплавов служили дважды аффинированный палладий с содержанием примесей около 0.01%, электролитический никель и чистый хром с содержанием примесей до 0.5%.

Приготовление сплавов весом около 20—25 г производилось в корундовых тиглях в высокочастотной печи, под слоем смеси хлористого бария и фтористого натрия.

Ряд сплавов был проанализирован, причем оказалось, что угар при плавке должен быть отнесен за счет хрома, и он столь незначителен, что не оказывает заметного влияния на ход диаграмм состав — свойство.

1. Термический анализ

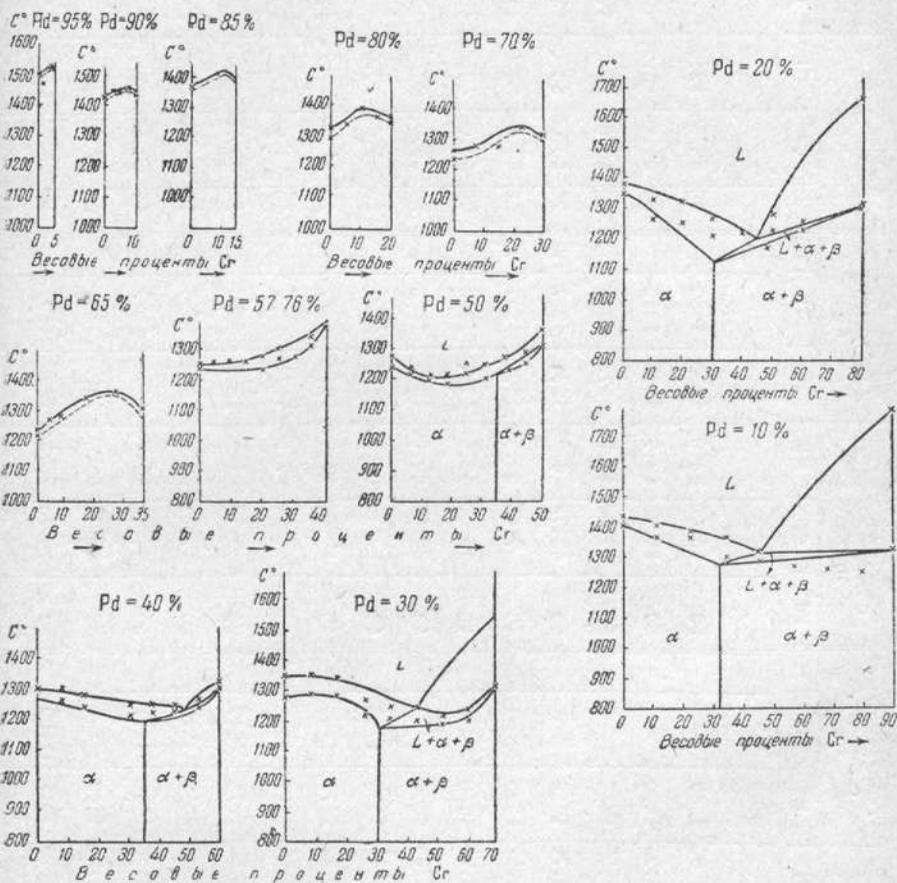
Запись кривых охлаждения производилась при помощи платинородиевой термопары и пирометра системы Н. С. Курнакова. Расплавление сплавов производилось в кристольной печи.

В табл. 1 приведены результаты термического анализа, а на фиг. 2 — термические диаграммы разрезов с постоянным содержанием палладия.

Температуры бинарных сплавов палладий — никель взяты по данным Френкеля и Штерна [1], а для сплавов палладий — хром — по данным

Грубе и Кнабе [3]. С достоверностью можно считать установленными линии ликвидус; границы гетерогенности на отдельных разрезах приведены по данным микроструктуры.

Диagramмы, относящиеся к разрезам с постоянным содержанием палладия — 95, 90, 85, 80, 70, 65, и 57.76 весовых процентов (фиг. 2), указывают на наличие в этой части тройной системы непрерывной области твердых



Фиг. 2. Термические диаграммы разрезов с постоянным содержанием палладия

растворов. При содержании 57.76% палладия в двойной системе палладий—хром находится химическое соединение Pd_2Cr_3 , образующее с хромом эвтектическую смесь (фиг. 1). Наличие этой гетерогенной области в двойной системе палладий—хром, а также эвтектической гетерогенной области в системе никель — хром вызывают образование в тройной системе линии двойной эвтектики и обширной гетерогенной области, образованной твердыми растворами, богатыми палладием (α) и хромом (β).

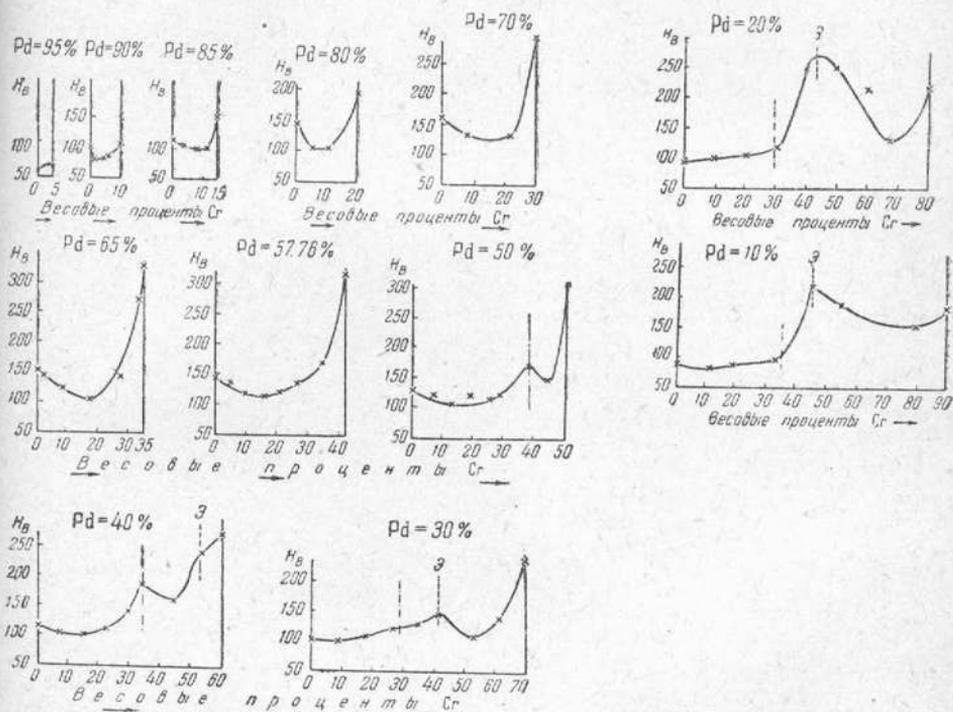
Разрез с постоянным содержанием палладия в 50% уже захватывает часть гетерогенной области (фиг. 2), разрез с 40% палладия пересекает эвтектическую линию. Разрезы с 30, 20 и 10% палладия (фиг. 2) по характеру аналогичны предыдущему с 40%. На фиг. 1 представлены изотермы поверхности ликвидус тройной системы. Температуры поверхности ликвидус, понижаясь к средней части диаграммы, вследствие наличия минимумов у двойных твердых растворов палладий — никель и палладий — Pd_2Cr_3 и линии двойной эвтектики, вновь повышаются к никелевому углу и к хромовому.

Таблица 1

Pd	Состав в весовых процентах			Температурные останки, °С			Состав в весовых процентах			Температурные останки, °С			Состав в весовых процентах			Температурные останки, °С					
	Pd	Cr	Ni	I	II	III	Pd	Cr	Ni	I	II	III	Pd	Cr	Ni	I	II	III			
95	1.25	3.75	1459	—	65	5.00	30.00	1269	—	50	25.00	25.00	1258	1230	—	30	52.50	17.50	—	1209	1181
95	2.50	2.50	1503	—	65	8.75	26.25	1280	—	50	31.25	18.75	1257	1219	—	30	61.25	8.75	—	1228	1198
95	3.75	1.25	1525	—	65	17.50	17.50	1333	—	50	37.50	12.50	1272	1236	—	20	10.00	70.00	1330	1258	—
90	2.50	7.50	1446	—	65	26.25	8.75	1356	—	50	43.75	6.25	1292	1257	—	20	20.00	60.00	1327	1250	—
90	5.00	5.00	1440	—	65	30.63	4.37	1335	—	40	7.50	52.50	1292	1257	—	20	30.00	50.00	1267	1210	—
90	7.50	2.50	1452	—	57.76	5.28	36.96	1259	—	40	15.00	45.00	1284	1243	—	20	40.00	40.00	1219	1169	—
85	3.75	11.25	1374	—	57.76	10.56	31.68	1266	—	40	30.00	30.00	1250	1215	—	20	50.00	30.00	1279	1230	—
85	7.50	7.50	1395	—	57.76	15.84	26.40	1253	1195	40	37.50	22.50	1249	1227	—	20	60.00	20.00	—	1257	1229
85	11.25	3.75	1419	—	57.76	21.12	21.12	1277	1233	40	45.00	15.00	1253	1227	—	10	11.25	78.75	1400	1362	—
80	5.00	15.00	1344	—	57.76	26.40	15.84	1311	1272	40	52.50	7.50	1271	1249	—	10	22.50	67.50	1392	1357	—
80	10.00	10.00	1398	—	57.76	31.68	10.56	1274	1217	30	8.75	61.25	1357	1289	—	10	33.75	56.25	1357	1294	—
80	15.00	5.00	1363	—	57.76	36.96	5.28	1346	1310	30	17.50	52.50	1342	1286	—	10	45.00	45.00	1311	1280	—
70	7.50	22.5	1282	—	50	6.25	43.75	1241	1217	30	26.25	43.75	1258	1217	—	10	56.25	33.75	—	—	1262
70	15.0	15.00	1275	—	50	12.50	37.50	1219	—	30	35.00	35.00	1247	1204	—	10	67.50	22.50	—	—	1254
70	22.50	7.50	1340	—	50	18.75	31.25	1217	1189	30	43.75	26.25	1238	1198	—	10	78.75	11.25	—	—	1248

2. Твердость

Сплавы, служившие для термического анализа, были применены и для изучения твердости по Бринеллю. Предварительно все сплавы были подвергнуты отжигу в вакууме при температуре 1100° в течение 10 суток, с медленным охлаждением. Твердость определялась при нагрузке 250 кг и диаметре шарика 10 мм. Результаты измерений приведены в табл. 2 и на диаграммах фиг. 3.



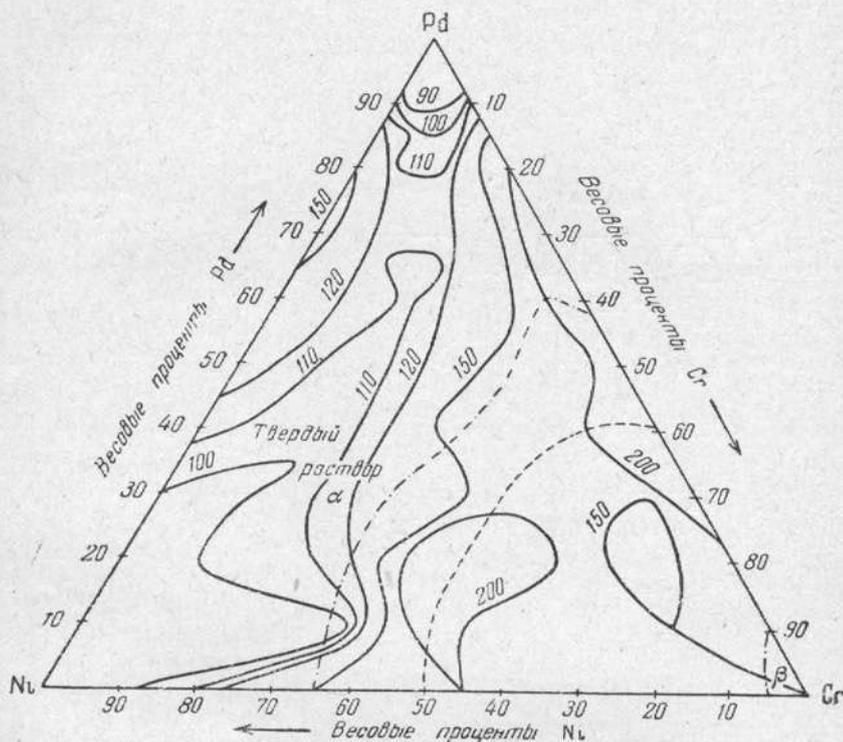
Фиг. 3. Диаграммы твердости по Бринеллю в кг/мм² разрезов с постоянным содержанием палладия.

----- граница гетерогенности; ——— пересечение разреза тройной диаграммы с эвтектической линией

Твердость сплавов разреза тройной диаграммы с постоянным содержанием 95% палладия (фиг. 3) возрастает от палладиевоникелевой стороны, проходит через максимум и понижается к палладиевохромовой стороне. Вид кривой имеет тот же характер, как и в бинарных системах при образовании непрерывного ряда твердых растворов.

Другой характер имеют кривые твердости в разрезах с 90, 85, 80, 70, 65 и 57.76% палладия (фиг. 3). Все сплавы, лежащие на этих разрезах, по данным термического анализа и микроструктуры, представляют собой однородные твердые растворы. Во всех указанных разрезах твердость плавно понижается от палладиевоникелевой стороны к средней части диаграммы, проходит через пологий минимум и вновь повышается к палладиевохромовой стороне разреза. Такие кривые изменения твердости, антибатные кривым изменения твердости в бинарных системах с непрерывными рядами твердых растворов, встречаются в разрезах тройной системы не впервые. Аналогичные явления имеют место и в ранее исследованных в нашей лаборатории системах платина — медь — никель [6] и платина — железо — медь [7].

Резко отличается от характера изменения твердости в предыдущих разрезах изменение твердости в разрезах с 50% палладия (фиг. 3). В этом ряду сплавов часть их с содержанием до 38% хрома является твердыми растворами, при большем содержании хрома — гетерогенными. Кривая твердости состоит из двух ветвей с минимумами, пересекающихся на границе гетерогенности.



Фиг. 4. Диаграмма твердости по Бринеллю в кг/мм² системы Pd — Ni — Cr

В следующем разрезе диаграммы, с 40% палладия, кривая твердости состоит из трех ветвей с двумя пологими минимумами (фиг. 3). Левая ветвь принадлежит сплавам с содержанием хрома от 0 до 37%, лежащим в области твердого раствора α , средняя ветвь — к сплавам с содержанием хрома от 37 до 53% хрома; это сплавы гетерогенные, доэвтектические. Третья ветвь относится к заэвтектическим гетерогенным сплавам. Точки пересечения ветвей, таким образом, отмечают границу появления гетерогенной области и точку пересечения разреза с линией двойной эвтектики.

В разрезе с 30% палладия (фиг. 3) кривая твердости имеет две ветви: доэвтектическую и заэвтектическую. Точка их пересечения, лежащая при 44% хрома, отмечает пересечение разреза с эвтектической линией.

Аналогичный характер имеет изменение твердости и в разрезах с 20 и 10% палладия (фиг. 3). Здесь так же, как и в разрезе с 30% палладия, имеются по две ветви кривых твердости; ветви эти пересекаются в точках, соответствующих пересечению разрезом с линией двойной эвтектики. Следует отметить, что на кривых твердости разрезом с 50 и 40% палладия точки перехода от гомогенной области к гетерогенной отмечаются пересечением ветвей кривой; на кривых твердости разрезом с 30, 20 и 10% палладия этот переход не отмечается.

Причину этого в настоящее время установить не представляется возможным, так как никакого экспериментального материала по исследованию физических свойств в системах аналогичного типа не имеется.

На фиг. 4 представлены кривые одинаковой твердости, изосклеры для тройной системы.

3. Электросопротивление и его температурный коэффициент

Образцы для изучения электросопротивления и его температурного коэффициента готовились из сплавов, богатых палладием, путем прокатки на ручном прокатном станке и протяжки через волоочильные глазки. Таким методом удалось приготовить образцы из сплавов однофазных. Из сплавов гетерогенных образцы готовились путем насыщения. Все образцы были подвергнуты отжигу при 1100° в вакууме с целью снятия механического наклепа и выравнивания концентраций.

Измерение электросопротивления производилось при 25 и 100° при помощи потенциометра. Вычисление температурного коэффициента электросопротивления производилось по формуле:

$$\alpha_{25-100^\circ} = \frac{\rho_{100} - \rho_{25}}{100\rho_{25} - 25\rho_{100}},$$

где ρ — удельное электросопротивление при соответствующих температурах.

Результаты измерений приведены в табл. 2 и на фиг. 5 и 6.

Электросопротивление в сплавах с постоянным содержанием палладия в 95, 90, 85 и 80% круто изменяется, возрастая от палладиевоникелевой стороны к палладиевохромовой.

В остальных разрезах тройной системы электросопротивление изменяется по кривым с пологими максимумами. Следует отметить, что точки пересечения кривых электросопротивления с границей гомогенности и эвтектической линией не отмечаются изломами кривых, как это имеет место на диаграммах твердости. Необходимо отметить также, что в большинстве разрезов кривые изменения электросопротивления с составом антибатны кривым твердости, что часто встречается в тройных системах и никогда не имеет места в двойных. Кроме того, в гетерогенной области электросопротивление изменяется по кривым линиям, а не по прямым, как это свойственно гетерогенным областям двойных систем. На фиг. 6 представлены линии одинакового электросопротивления для сплавов тройной системы.

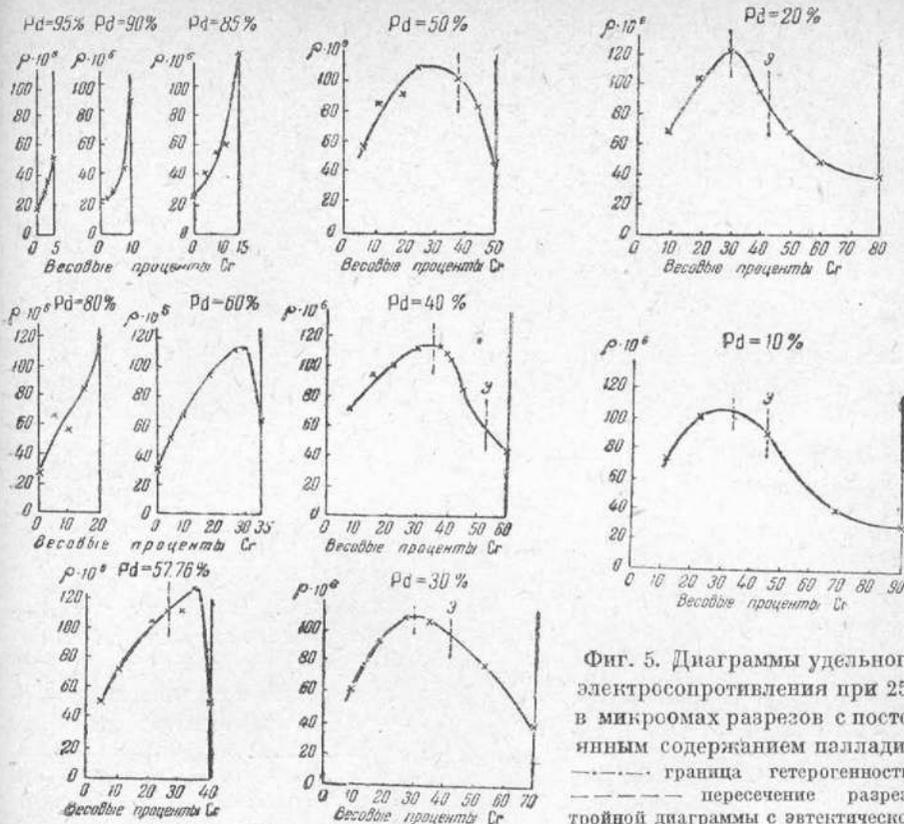
Температурный коэффициент электросопротивления в разрезах с постоянным содержанием палладия от 95 до 30% (фиг. 7) выражен кривыми с пологим минимумом, все они однотипны. Следует отметить, что в разрезах с содержанием 50, 40 и 30% палладия в отличие от кривых твердости границы гомогенной и гетерогенной областей ничем не отмечаются. Эвтектическая точка на кривой с 40% палладия также не отмечена пересечением ветвей, в то время как на кривой твердости того же разреза (фиг. 3) эта точка ясно выражена. На кривых температурного коэффициента разрезов с 20 и 10% палладия (фиг. 7) имеется по две ветви. Пересечение этих ветвей лежит в области пересечения разреза с эвтектической линией.

На фиг. 8 представлены линии одинакового температурного коэффициента электросопротивления сплавов тройной системы.

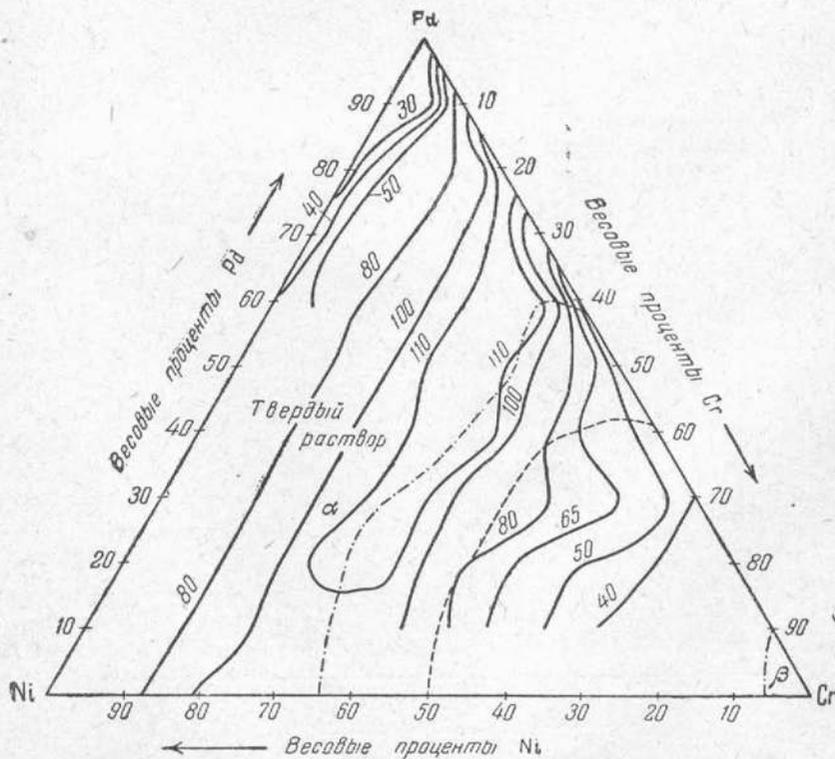
Из сравнения фиг. 6 и 8 следует, что составы сплавов с одинаковым электросопротивлением и одинаковым температурным коэффициентом электросопротивления расположены по линиям, ориентированным в направлении стороны треугольника никель — палладий.

Таблица 2

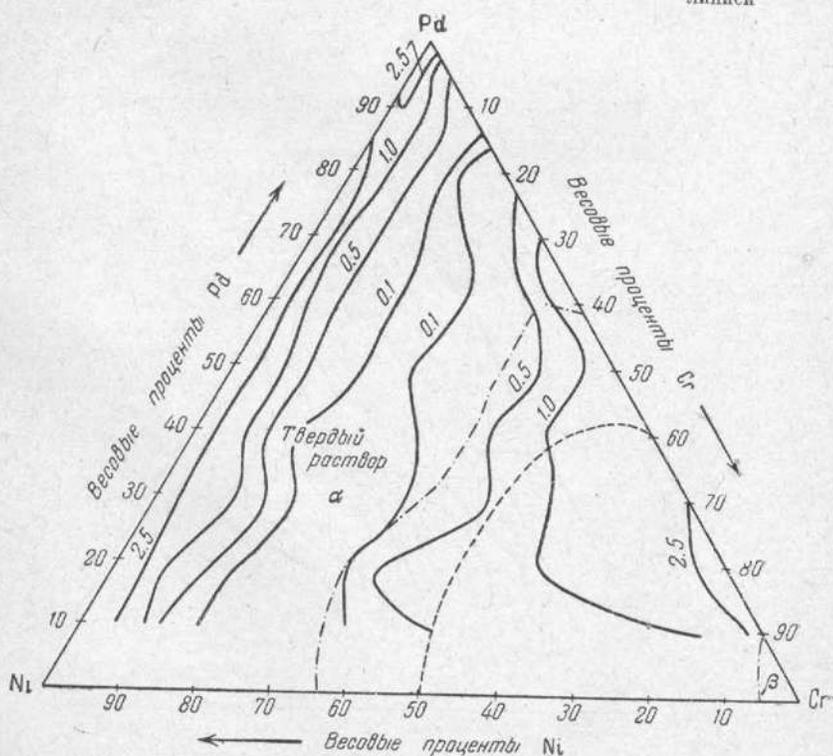
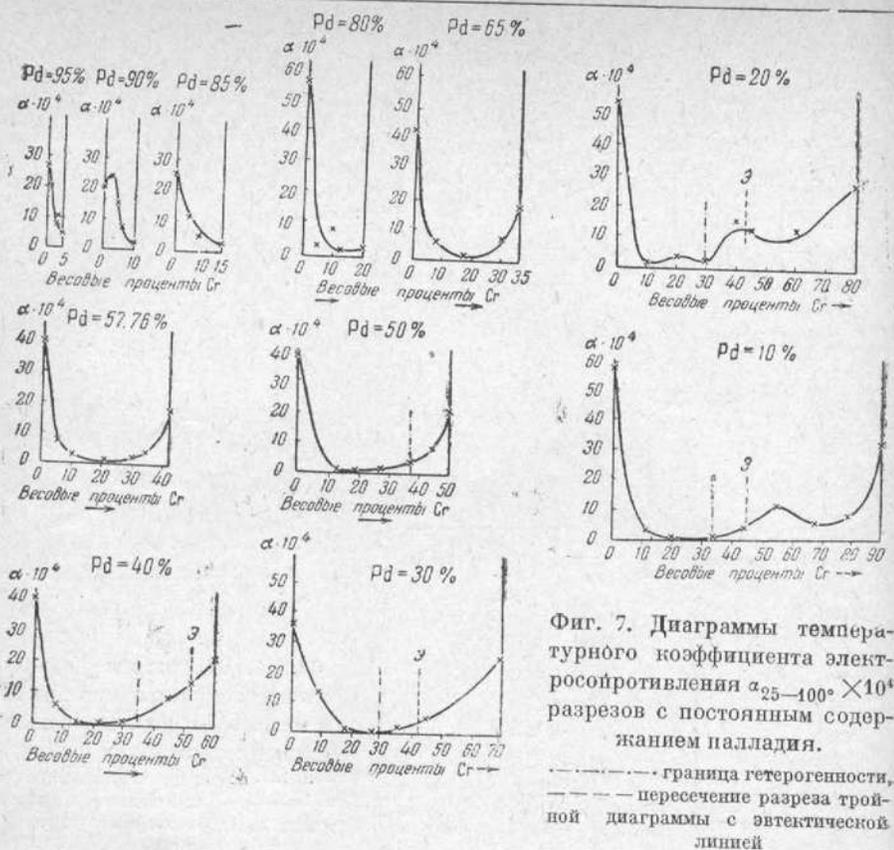
Состав в весовых процентах			Твердость по Бринеллю, кг/мм ² (H _B)	Удельное электросопротивление, ом · 10 ⁶		Температурный коэффициент электропроводления, α_{25-100}°
Pd	Cr	Ni		ρ_{25}°	ρ_{100}°	
95	1.25	3.75	74.7	14.42	24.95	0.002064
95	2.50	2.50	80.2	27.55	28.75	0.000594
95	3.75	1.25	90.2	34.78	37.46	0.001052
90	2.50	7.50	81.5	19.36	22.82	0.002529
90	5.00	5.00	84.5	25.78	28.76	0.001605
90	7.50	2.50	86.5	42.95	45.20	0.000709
85	3.75	11.25	105.5	38.10	41.10	0.001078
85	7.50	7.50	97.0	52.93	54.68	0.000513
85	11.25	3.75	100.2	55.58	60.19	0.001147
80	5.00	15.00	112.5	64.93	66.72	0.000367
80	10.00	10.00	111.5	45.78	48.68	0.000900
80	15.00	5.00	—	84.77	85.79	0.000159
70	7.50	22.50	132.0	—	—	—
70	15.00	15.00	81.0	83.15	84.06	0.000177
70	22.50	7.50	123.0	—	—	—
65	4.37	30.62	145.0	49.51	53.45	0.001081
65	8.75	26.25	122.0	63.88	66.82	0.000629
65	17.50	17.50	102.5	94.60	95.50	0.000107
65	26.25	8.75	135.0	111.74	112.4	0.000084
65	30.62	4.37	138.5	111.40	113.20	0.000215
57.76	5.28	36.96	134.5	49.64	52.43	0.000761
57.76	10.56	31.68	116.0	72.91	73.97	0.000196
57.76	15.84	26.40	114.5	—	—	—
57.76	21.12	21.12	120	103.40	104.00	0.000084
57.76	26.00	15.84	133.5	108.50	109.50	0.000124
57.76	31.68	10.56	125.5	110.20	111.90	0.000201
57.76	36.96	5.28	160.0	125.10	128.20	0.000325
50	6.25	43.75	123.0	52.76	56.36	0.000934
50	12.50	37.50	109.5	82.27	82.92	0.000107
50	18.75	31.25	121.0	91.14	91.78	0.000094
50	25.00	25.00	115.0	108.90	109.40	0.000064
50	31.25	18.75	119.5	—	—	0.000146
50	37.50	12.50	173.0	99.11	101.50	0.000319
50	43.75	6.25	145.0	77.63	82.29	0.000814
40	7.50	52.50	104.0	69.96	70.28	0.000703
40	15.00	45.00	101.5	94.65	95.00	0.000051
40	22.50	37.50	114.0	105.00	105.70	0.000064
40	30.00	30.00	140.0	113.00	113.70	0.000082
40	37.50	22.50	187.0	110.50	112.60	0.000266
40	45.00	15.00	162.0	78.82	84.23	0.000954
40	52.50	7.50	240.0	—	—	0.001421
30	8.75	61.25	97.5	55.99	61.47	0.001353
30	17.50	52.50	105.5	95.10	95.94	0.000117
30	26.25	43.75	119.0	111.50	112.10	0.000070
30	35.00	35.00	126.5	107.50	109.30	0.000229
30	43.75	26.25	145.0	73.75	76.06	0.000426
30	52.50	17.50	105.0	60.02	81.35	0.005386
30	61.25	8.75	137.5	—	—	—
20	10.00	70.00	100.0	66.23	67.94	0.000035
20	20.00	60.00	104.0	102.40	103.00	0.000278
20	30.00	50.00	114.0	119.50	121.60	0.000238
20	40.00	40.00	250	86.09	95.92	0.001544
20	50.00	30.00	250	62.86	68.51	0.001238
20	60.00	20.00	216	44.52	48.15	0.001117
20	70.00	10.00	130	—	—	—
10	11.25	78.75	81.5	71.97	73.54	0.000293
10	22.50	67.50	87.0	104.20	104.80	0.000070
10	33.75	56.25	96.0	40.36	40.72	0.000120
10	45.00	45.00	215.0	85.86	88.91	0.000479
10	56.25	33.75	184.0	—	—	0.001180
10	67.50	22.50	—	38.10	39.77	0.000586
10	78.75	11.25	150.0	—	—	0.000877



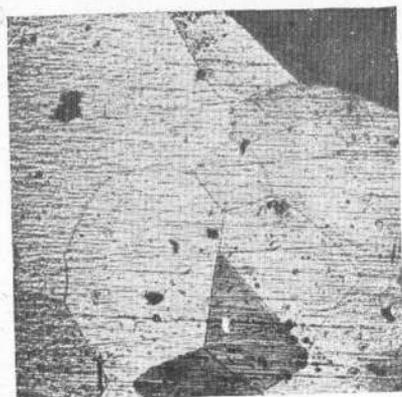
Фиг. 5. Диаграммы удельного электросопротивления при 25° в микромах разрезов с постоянным содержанием палладия — граница гетерогенности; — пересечение разреза тройной диаграммы с эвтектической линией



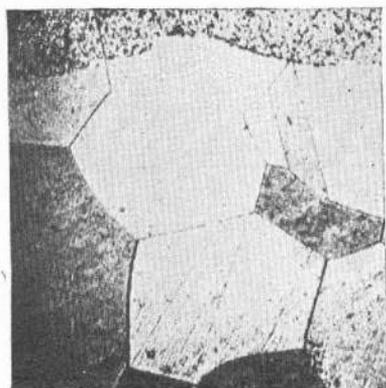
Фиг. 6. Диаграмма удельного электросопротивления при 25° в микромах разрезе системы Pd — Ni — Cr



Фиг. 8. Диаграмма температурного коэффициента электросопротивления $\alpha_{25-100} \times 10^3$ системы Pd—Ni—Cr



Фиг. 9. Pd — 95%, Cr — 1.25%,
Ni — 3.75%. $\times 100$



Фиг. 10. Pd — 85%, Cr — 3.75%,
Ni — 11.25%. $\times 100$



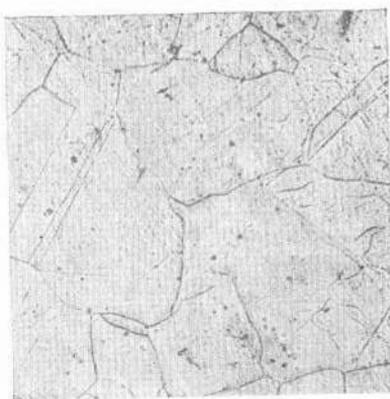
Фиг. 11. Pd — 65%, Cr — 17.50,
Ni — 17.50%. $\times 100$



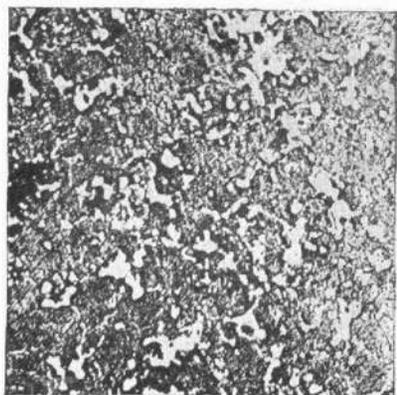
Фиг. 12. Pd — 57.76% Cr — 17.50,
Cr — 15.84%, Ni — 26.40%. $\times 100$



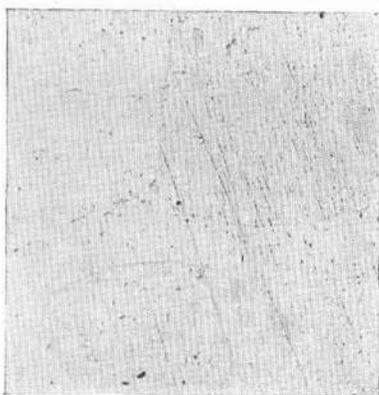
Фиг. 13. Pd — 57.76%,
Cr — 36.96%, Ni — 5.28%. $\times 100$



Фиг. 14. Pd — 50%, Cr — 6.25%,
Ni — 43.75%. $\times 100$



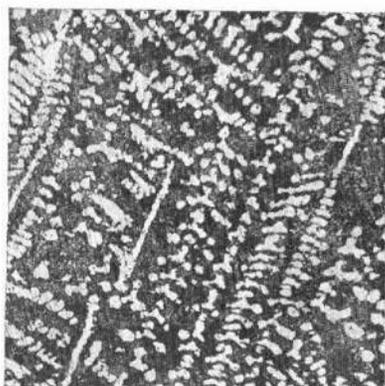
Фиг. 15. Pd — 50%, Cr — 43.75%,
Ni — 6.25%. $\times 100$



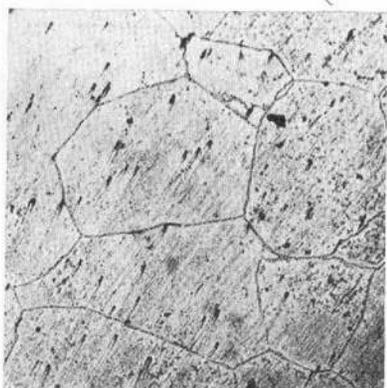
Фиг. 16. Pd — 40%, Cr — 7.50%,
Ni — 52.50%. $\times 100$



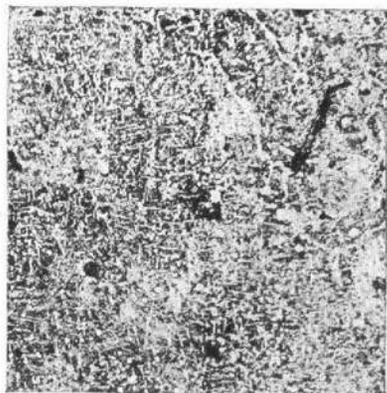
Фиг. 17. Pd — 40%, Cr — 45.00%,
Ni — 15.00%. $\times 100$



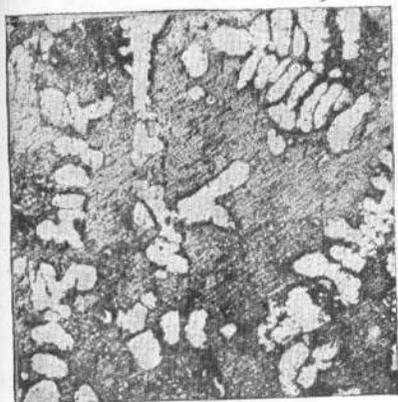
Фиг. 18. Pd — 40%, Cr — 52.50%,
Ni — 7.50%. $\times 100$



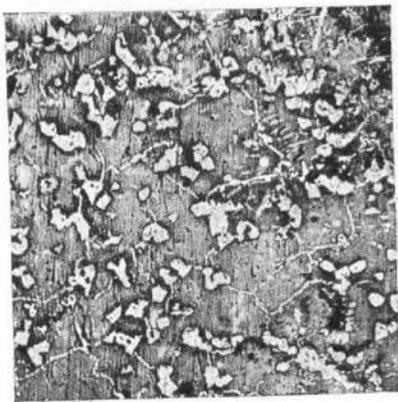
Фиг. 19. Pd — 30.8%, Cr — 35.00%,
Ni — 35.00%. $\times 100$



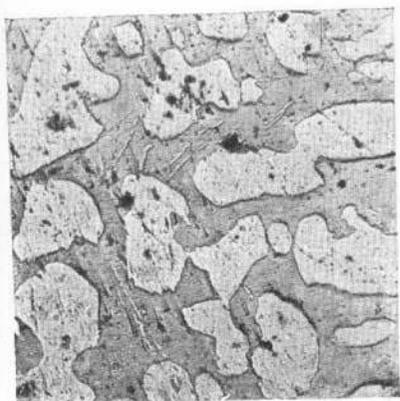
Фиг. 20. Pd — 30%, Cr — 43.75%,
Ni — 26.25%. $\times 100$



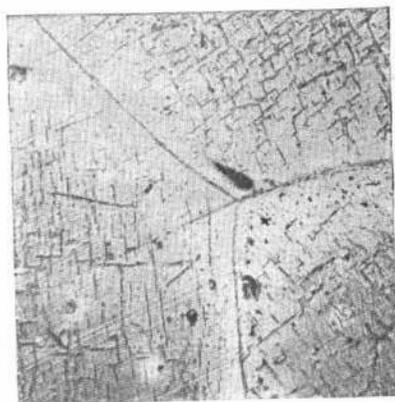
Фиг. 21. Pd — 30%, Cr — 52.50%,
Ni — 17.50%. $\times 100$



Фиг. 22. Pd — 20%, Cr — 40.00%,
Ni — 40.00%. $\times 100$



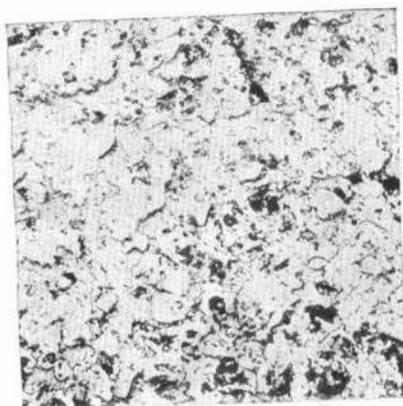
Фиг. 23. Pd — 20%, Cr — 60.00%,
Ni — 20.00%. $\times 100$



Фиг. 24. Pd — 10%, Cr — 11.25%,
Ni — 78.75%. $\times 100$



Фиг. 25. Pd — 10%, Cr — 45.00%,
Ni — 45.00%. $\times 100$



Фиг. 26. Pd — 10%, Cr — 78.75%,
Ni — 11.25%. $\times 100$

4. Микроструктура

У всех приготовленных сплавов была изучена микроструктура. Травление производилось царской водкой различных концентраций. Сопоставление данных микроструктуры с данными других методов исследования позволило построить диаграмму состояний системы палладий — никель — хром и указать как положение линии двойной эвтектики, так и границу существования областей твердых растворов и гетерогенных смесей. На фиг. 9—26 приведены микроструктуры отожженных сплавов. Состав указан в весовых процентах.

На фиг. 9 представлен сплав состава: 95% Pd, 1.25% Cr, 3.75% Ni, являющийся твердым раствором. Сплавы состава: 85% Pd, 3.75% Cr, 11.25% Ni (фиг. 10), 65% Pd, 17.5% Cr и 17.5% Ni (фиг. 11) и 57.76% Pd, 15.84% Cr и 26.40% Ni (фиг. 12) также лежат в гомогенной области диаграммы и имеют структуру типичных твердых растворов. Сплав с содержанием 57.76% Pd, 36.96% Cr и 5.28% Ni (фиг. 13) — двухфазный, в нем видны светлые дендриты богатого палладием твердого раствора α и серая основная эвтектическая масса. Сплав состава: 50% Pd, 6.25% Cr и 43.75% Ni (фиг. 14) лежит близко к палладиевоникелевой стороне диаграммы и является твердым раствором. Фиг. 15 относится к сплаву состава: 50% Pd, 43.75% Cr и 6.25% Ni, лежащему в гетерогенной области. На фотографии видны зерна твердого раствора α и большое количество эвтектики. Сплав состава 40% Pd, 7.5% Cr и 52.5% Ni имеет структуру твердого раствора α (фиг. 16). Фиг. 17 представляет структуру сплава, лежащего недалеко от эвтектической линии (40% Pd, 45% Cr и 15% Ni). На фотографии видны первичные выделения твердого раствора и много эвтектики. Фиг. 18 представляет структуру эвтектического сплава: 40% Pd, 52.5% Cr, 7.5% Ni. При отжиге произошла частичная коагуляция эвтектики. Фиг. 19 относится к сплаву состава: 30.8% Pd, 35.0% Cr и 35.0% Ni, лежащего близко к границе твердого раствора α , но уже гетерогенного. На границах зерен твердого раствора α видны мелкие зерна эвтектики. Сплав состава: 30% Pd, 43.75% Cr и 26.25% Ni (фиг. 20) имеет структуру почти чистой эвтектики. У сплава с 30% Pd, 52.5% Cr и 17.5% Ni, лежащего по другую сторону эвтектической линии (фиг. 21), на фоне серой эвтектики видны светлые выделения богатого хромом твердого раствора β . В доэвтектическом сплаве, содержащем 20.00% Pd, 40.00% Cr и 40.00% Ni (фиг. 22), видны выделения твердого раствора α и серая эвтектическая масса. Микроструктура заэвтектического сплава состава: 20.00% Pd, 60.00% Cr и 20.00% Ni (фиг. 23) содержит белые крупные первичные выделения богатого хромом твердого раствора β на фоне более темной (слабо протравленной) эвтектики. На фиг. 24 представлен богатый никелем сплав состава: 10% Pd, 11.25% Cr и 78.75% Ni. На микрофотографии ясно видны крупные зерна богатого никелем твердого раствора α . Внутри зерен твердого раствора наблюдается своеобразная сетчатость, указывающая, повидимому, на какое-то превращение в твердом состоянии. Возможно, что это растрескивание зерен связано с магнитным превращением никеля. Аналогичное явление наблюдалось ранее Н. С. Курнаковым и В. А. Немиловым в сплавах никеля с платиной, богатых никелем [8].

Сплав, представленный на фиг. 25, состава: 10% Pd, 45% Cr и 45% Ni, имеет резко выраженную структуру эвтектики и лежит на линии двойной эвтектики. Сплав состава: 10% Pd, 78.75% Cr и 11.25% Ni (фиг. 26), лежащий в хромовом углу диаграммы, имеет крупные выделения богатого хромом твердого раствора β , между которыми расположено небольшое количество эвтектики.

ВЫВОДЫ

Произведенное методами термического анализа, твердости по Бринеллю, электросопротивления, его температурного коэффициента и микроструктуры исследование системы палладий — никель — хром позволило установить диаграмму состояний системы. Установлено наличие обширной области твердых растворов, прилегающей к стороне палладий — никель. Установлено положение границ гетерогенности и линии двойной эвтектики, образованной твердыми растворами α , богатыми палладием и никелем, и β — богатыми хромом. Границы эти и линии двойной эвтектики показаны на треугольных диаграммах пунктирными линиями.

Изучение свойств сплавов показало, что при наличии механических смесей, образованных твердыми растворами в тройной системе, изменение свойств в отдельных разрезах происходит не по прямым линиям, как это имеет место в бинарных системах, а по кривым, так как состав первично выделяющихся твердых растворов в тройных системах, в отдельных сплавах, различен, в то время как в бинарных он постоянен на всем протяжении гетерогенной области.

Положение эвтектической линии определяется для отдельных разрезов исследованной системы на диаграммах твердости пересечением двух кривых. В некоторых случаях и граница гетерогенности отмечается изломом кривой. Это явление наблюдается впервые, так как впервые произведено систематическое исследование изменения физических свойств в тройной системе, обладающей линией двойной эвтектики. Но это явление не наблюдается на кривых электросопротивления и видно только в отдельных разрезах на кривых его температурного коэффициента. В большинстве разрезов кривые твердости по Бринеллю антибатны кривым электросопротивления, что в тройных системах наблюдалось и ранее, например, в системах платина — железо — медь [7] и платина — медь — никель [6]. Такая антибатность кривых твердости и электросопротивления никогда не имеет места в бинарных системах, образованных металлами.

Поступило в редакцию
20 мая 1946 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Fraenckel u. A. Stern. Ztschr. f. anorg. u. allgem. Chemie **166** (1927).
2. А. Т. Григорьев. Изв. Инст. платины АН СССР **9** (1932).
3. G. Grube u. Knabe. Z. f. Elektrochemie **42**, № 11 (1936).
4. J. Matsunaga, Kinzoku, no Kenkyu **6** (1929); Journ. Inst. Met. London **42** (1929).
5. S. Nishigori a. M. Hamasumi. Sci Rep. Tohoku Univ. **18** (1929).
6. В. А. Немиллов и Т. А. Видусова. Изв. Сект. платины АН СССР **17** (1940).
7. В. А. Немиллов и А. А. Рудницкий. Изв. Сект. ФХА АН СССР **XIV** (1941).
8. Н. С. Курнаков и В. А. Немиллов. Изв. Инст. платины АН СССР **8** (1931).