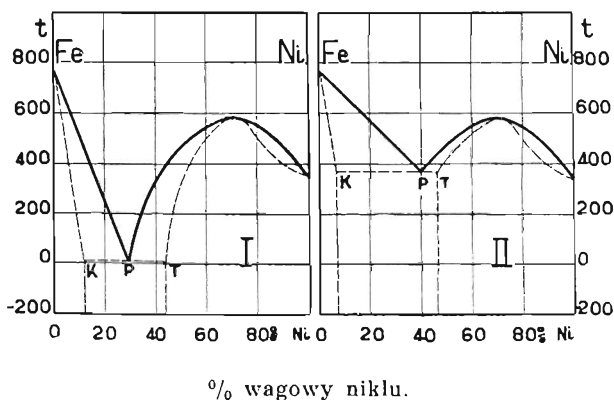


O budowie stopów żelaza z niklem.

Zarys historyczny. Stopy żelaza z niklem stanowią główny składnik ważnych dla przemysłu stali niklowych. W przyrodzie wchodzi one w skład meteorytów, w których odróżnić można¹⁾ trzy składniki: jednorodny *kamacyt*, zawierający poniżej 7% niklu, jednorodny *tenit* zawierający powyżej 30% niklu i niejednorodny *plesyt* o składzie pośrednim.

Budowę tę starali się wyjaśnić Osmond i Cartaud²⁾, podając przedstawione na rys. 1 wykresy prawdopodobnych przemian w stopach żelaza z niklem.



Rys. 1. Wykres przemian stopów żelaza z niklem przy oziębianiu (I) i przy ogrzewaniu (II) według Osmonda i Cartauda.

Według tych wykresów kamacyt (*K*) i tenit (*T*) odpowiadają roztworom stałym granicznym, zaś plesyt (*P*) eutektoidowi. Zazna-

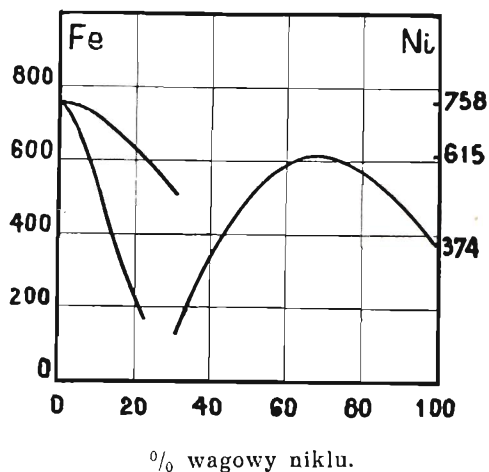
¹⁾ v. Reichenbach, Pogg. Ann. 114, (1861).

²⁾ Osmond i Cartaud, Revue de Métall., 1, (1904), str. 69.

czyć jednak należy, że budowę właściwą meteorytom otrzymać można dla stopów żelaza z niklem tylko w wyjątkowych warunkach¹⁾.

Sprawie budowy stopów żelaza z niklem poświęcono dość liczne badania, z których podamy tylko kilka najważniejszych.

Praca Hegga²⁾ nad magnetycznymi własnościami (rys. 2) potwierdza naogół dane Osmonda, ale autor nie wyciąga żadnych wniosków dotyczących budowy stopów. Natomiast Weiss i Foex³⁾ na podstawie analogicznej pracy przyjmują istnienie związku Fe_2Ni .



Rys. 2. Wykres przemiany magnetycznej stopów żelaza z niklem według Hegga.

Guillaume⁴⁾ w swych klasycznych badaniach nad rozszerzalnością stopów żelaza z niklem twierdzi, że „stopy wykazujące najwyraźniejsze zjawiska odpowiadają w przybliżeniu wzorom Fe_2Ni i Fe_3Ni ”. Pomiary nad rozszerzalnością w zależności od temperatury przeprowadza Chevenard⁵⁾, otrzymując dla współczynników rozszerzalności wyniki podane na rys. 3.

¹⁾ Benedicks, *Revue de Métall.*, 8, (1911), str. 85.

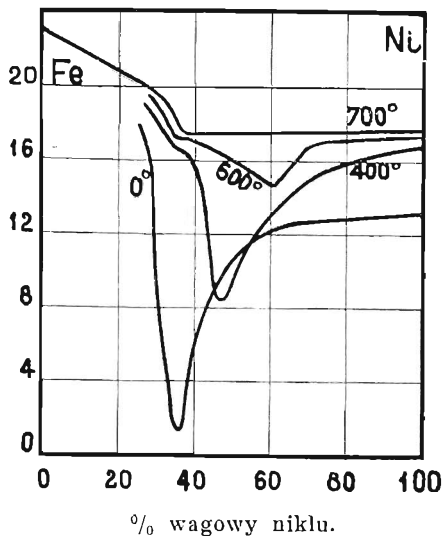
²⁾ Hegg, *Arch. de Genève*, 29, (1910), str. 592; 30, (1910), str. 15.

³⁾ Weiss i Foex, *Arch. de Genève*, 31, (1911), str. 5 i 89; *Journ. de Phys.*, 1, (1911), str. 745.

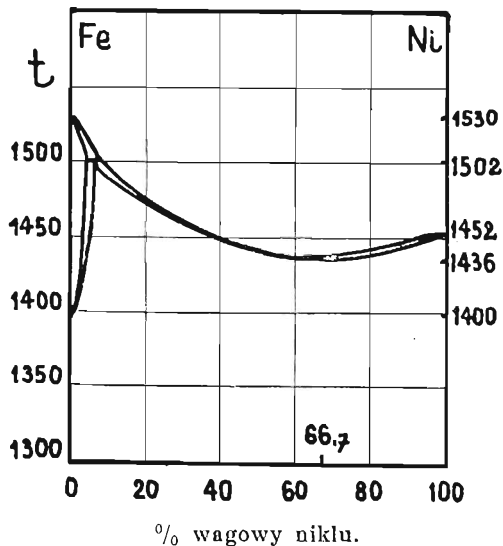
⁴⁾ Guillaume, *Contribution à l'étude des alliages*. Paris, 1901, str. 459.

⁵⁾ Chevenard C. R., 159, (1914), str. 175; *Revue de Métall.*, 11, (1914), str. 841.

Krzywa topliwości wykazuje minimum w pobliżu składu $FeNi_2$ jak to widać na wykresie Hansona i Freemana¹⁾ przedstawionym na rys. 4.



Rys. 3. Współczynniki rozszerzalności stopów żelaza z niklem przy 0°, 400°, 600° i 700° według Chevenarda.



Rys. 4. Krzywa topliwości stopów żelaza z niklem według Hansona i Freemana.

¹⁾ Hanson i Freeman, Journ. Iron a. Steel Inst., 107, (1923), str. 302.

Własności elektryczne stopów żelaza z niklem badali zwłaszcza Ruer i Schüz¹⁾, Chevenard²⁾, Schulze³⁾ oraz Sizoo i Zwikker⁴⁾. Badania te nie dają jednak dostatecznie zgodnych wyników, co w pewnym stopniu może być wytłumaczone zanieczyszczeniami (*C*, *Mn*, *Si*), których łączna zawartość w badanych stopach wahała się od 0,5 do 1%.

Analiza rentgenograficzna wskazuje, według Andrews⁵⁾ do 25% niklu układ siatki przestrzennie centryczny, zaś powyżej 30% układ płaskocentryczny. Pomiędzy 25 i 30% niklu daje się zauważyć mieszanina obu układów.

Przygotowanie próbek. Jako metali wyjściowych użyliśmy w naszych badaniach żelaza i niklu elektrolitycznego. Metale stapiano w próżni pieca indukcyjnego wysokiej częstotliwości. Gdy przywracano w piecu ciśnienie atmosferyczne wznosił się stop do rurki kwarcowej, zatopionej na jednym końcu jak do rurki barometrycznej.

W ten sposób przygotowane próbki o 5 mm średnicy i 115 mm długości podlegały ujednorodnieniu przez wyżarzanie w próżni w ciągu 100 godzin przy 950°. Po tej obróbce termicznej stopy wykazywały pod mikroskopem jednorodną budowę z wyjątkiem próbek zawierających od 28 do 32% niklu, które składały się z mieszaniny dwóch faz.

Szczupły zakres mieszanin spowodowany był przez wysoką temperaturę obróbki, gdyż przy wyżarzaniu przez taki sam okres czasu przy 700°, dolna granica mieszanin rozpoczynała się już w pobliżu 5% niklu, przy niezmienionem położeniu granicy górnej.

Pomiary. Opór elektryczny, zdolność termoelektryczna, rozszerzalność i twardość mierzone były metodami wskazanymi w jednej z poprzednich prac⁶⁾.

Pomiar napięcia elektrolitycznego odbywał się w normalnym roztworze azotanu amonowego z dodatkiem 1% azotanu żelaza i 1% azotanu niklu. Anodę stanowiła elektroda rtęciowo-kalomelowa oddzielona normalnym roztworem chlorku potasu. Pomiaro-

1) Ruer i Schüz, *Métallurgie*, 7, (1910), str. 415.

2) Chevenard, C. R., 182, (1926), str. 1338; *Revue du Nickel* t. 3 Nr. 2.

3) Schulze, *Z. f. Phys.*, 50, (1928), str. 448.

4) Sizoo i Zwikker, *Zs. f. Metallk.*, 21, (1929), str. 125.

5) Andrews, *Phys. Review*, 17, (1921), str. 261; 18, (1921), str. 245.

6) Broniewski i Strasburger. O budowie stopów miedzi z cynkiem, *Prace Zakładu Metalurgicznego Pol. Warsz.* t. III, 1933, str. 3.

wym aparatem był elektrometr kwadrantowy, zaś jednostką porównawczą ogniwo Westona.

Podatność magnetyczną mierzono za pomocą magnetometru: *Cambridge magnetic bridge permeameter*. Przyrząd ten pozwalał na badanie własności magnetycznych stosunkowo małych próbek ($d=5$ mm, $l=115$ mm) używanych do innych naszych pomiarów. Dokładne wyniki były otrzymywane przez możliwość skompensowania zapomocą dodatkowej cewki oporu magnetycznego warstewki powietrza pomiędzy biegunami jarzma i końcami próbki. Próbki podlegające badaniu zaopatrywano w 100 zwojów drutu miedzianego o średnicy 0,2 mm.

Zarówno permeametr jak i należny do niego galwanometr balistyczny były przez nas kalibrowane przed rozpoczęciem pomiarów.

Bezpośrednio określona zapomocą magnetometru przenikalność magnetyczna pozwalała na obliczenie podatności magnetycznej K oraz innych współczynników magnetycznych zapomocą znanych wzorów

$$K = \frac{\mu - 1}{4\pi} = \frac{J}{h} = \chi d$$

gdzie J oznacza stopień namagnetyzowania, h — natężenie pola magnetycznego, χ — współczynnik namagnesowania i d gęstość próbki.

Straty energii w cyklu histerezy wyznaczono przez pomiar tego cyklu w granicach 150 gaussów i przez planimetrowanie jego pola.

Wyniki badań. Wyniki naszych pomiarów nad własnościami elektrycznymi stopów żelaza z niklem zostały przedstawione w tabelicy I-szej i na rys. 5 i 6.

Wykresy przewodnictwa elektrycznego przy 0 i 100° (C_0 i C_{100} , rys. 5) wykazują znaczny spadek pomiędzy 25 i 35% niklu. Krzywa zmiany oporu elektrycznego z temperaturą (α , rys. 5) osiąga pierwsze swe maximum w zakresie tego spadku, przy 27% niklu, drugie zaś maximum znajduje się w pobliżu składu $FeNi_2$.

Krzywe średniej zdolności termoelektrycznej pomiędzy 0 i -78° oraz pomiędzy 0 i 100° (p , rys. 6) osiągają wspólne minimum w pobliżu 27% niklu. Natomiast następne maximum i minimum tych krzywych nie zachodzą przy tych samych składach stopów.

Zmiana zdolności termoelektrycznej z temperaturą może być poprawnie wykreślona tylko w tym zakresie, gdzie żaden punkt



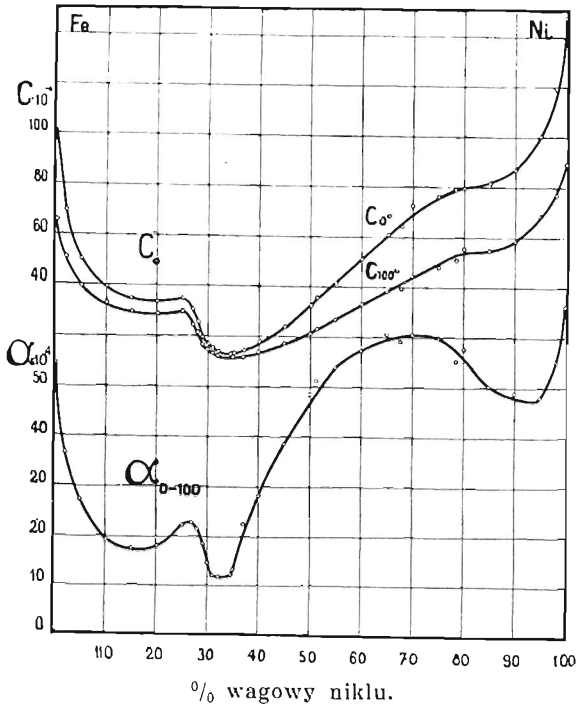
TABLICA 1.

Właściwości elektryczne.

$\% Ni$ — procenty ciężarowe niklu, C_0 — przewodnictwo elektryczne właściwe przy 0° , C_{100} — przewodnictwo elektryczne przy 100° , α — współczynnik zmiany oporu elektrycznego pomiędzy 0 i 100° , p_1 — średnia zdolność termoelektryczna pomiędzy -78° i 0° , p_2 — średnia zdolność termoelektryczna pomiędzy $+100^\circ$ i 0° , E — napięcie elektrolityczne maksymalne i minimalne w voltach.

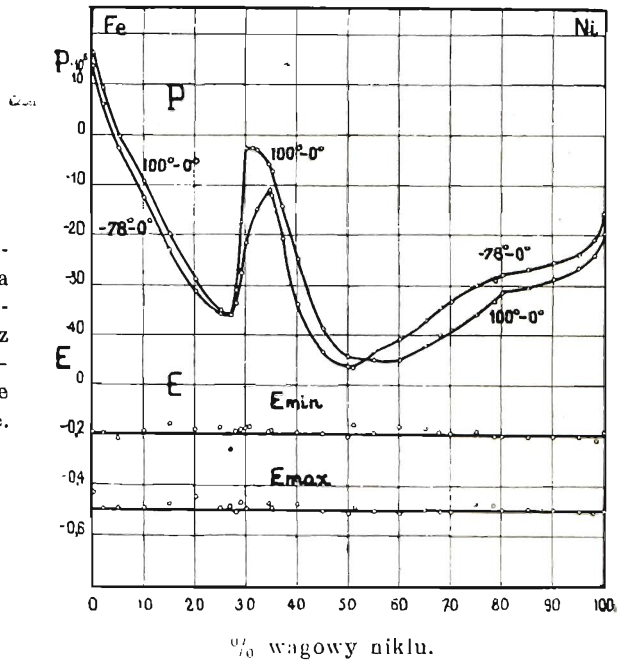
$\% Ni$	$C_0 \cdot 10^{-4}$	$C_{100} \cdot 10^{-4}$	$\alpha \cdot 10^4$	$p_1 \cdot 10^6$	$p_2 \cdot 10^6$	E max.	E min.
0	102,50	65,73	54,55	16,3	13,7	-0,192	-0,436
2	69,65	51,08	36,45	9,1	6,2	-0,198	-0,495
5	50,05	39,37	27,10	-0,4	-2,8	-0,223	-0,493
10	39,07	32,79	19,20	-9,4	-12,4	-0,192	-0,495
15	34,65	29,55	17,35	-20,0	-23,1	-0,160	-0,477
20	33,65	28,54	17,75	-29,1	-31,3	-0,183	-0,449
25	34,75	28,47	22,15	-35,3	-35,8	-0,175	-0,493
27	30,25	24,67	22,51	-36,3	-36,4	-0,180	-0,501
28	25,65	21,18	21,32	-33,7	-31,6	-0,191	-0,489
29	19,20	16,38	18,49	-27,6	-17,4	-0,176	-0,479
30	16,47	14,39	14,57	-21,8	-2,7*	-0,176	-0,495
31	15,05	13,36	11,62	-29,8	-2,7*	-0,181	-0,490
32	13,66	12,27	11,38	-14,9	-3,3*	-0,179	-0,494
34,5	12,87	11,52	11,75	-11,2	-6,4	-0,192	-0,474
35	13,06	11,56	13,02	-12,3	-7,3	-0,189	-0,495
37	14,22	11,64	22,25	-20,9	-14,0		
40	17,92	14,01	27,90	-33,9	-25,0	-0,195	-0,477
45	23,75	17,17	38,50	-45,8	-38,9	-0,198	-0,509
50	32,04	21,56	48,55	-46,5	-44,5	-0,211	-0,516
51,2	35,22	23,19	51,32	-46,7	-46,1	-0,163	-0,487
55	41,15	26,74	53,95	-43,3	-45,1	-0,195	-0,506
60	51,00	33,13	57,35	-41,0	-45,1	-0,169	-0,516
65	60,45	38,12	60,50	-37,3	-42,3	-0,175	-0,496
67,8	63,55	39,25	59,10	-34,5	-39,9	-0,192	-0,506
70	72,45	44,41	60,60	-35,5	-38,9	-0,198	-0,506
75	76,20	47,80	59,65	-30,1	-35,9	-0,188	-0,471
78,5	79,03	50,96	55,10	-29,3	-33,4	-0,206	-0,480
80	79,40	55,35	57,65	-28,1	-31,6	-0,204	-0,500
85	81,80	54,30	50,15	-27,6	-30,6	-0,210	-0,496
90	86,90	58,36	48,85	-25,7	-28,5	-0,207	-0,500
95	100,20	68,90	48,05	-24,0	-26,8	-0,204	-0,506
98	119,60	76,92	55,45	-21,1	-24,2	-0,220	-0,510
100	148,20	89,30	65,92	-15,2	-19,5	-0,191	-0,500

Znak * oznacza pomiary niepewne wobec przemian zachodzących w stopach w granicach temperatur pomiarowych.



Rys. 5. C_0 — przewodnictwo elektryczne przy 0° , C_{100} — przewodnictwo przy 100° , α — współczynnik zmiany oporu elektrycznego pomiędzy 0 i 100° .

Rys. 6. p — średnia zdolność termoelektryczna odniesiona do ołowiu pomiędzy 0 i 100° oraz pomiędzy 0 i -78° , E — napięcie elektrolityczne maksymalne i minimalne.



przełomowy nie zachodzi w zakresie stosowanych temperatur. Dla stopów zawierających powyżej 40% niklu własność ta obliczona na podstawie przytoczonych w tablicy I danych wykazuje minimum w pobliżu składu $FeNi_2$.

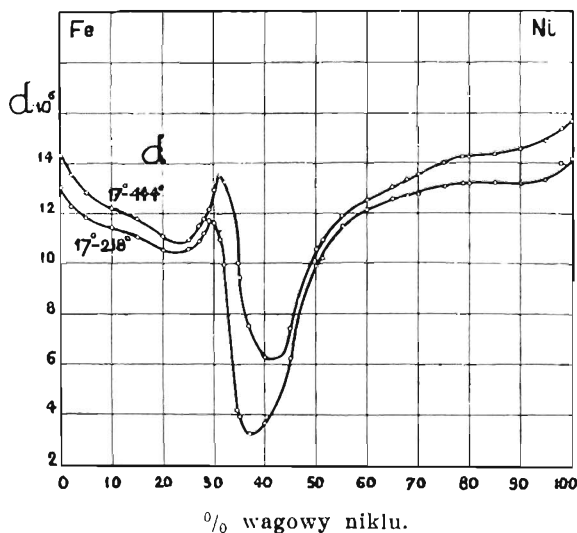
Napięcie elektrolityczne (E , rys. 6) nie daje poznać żadnych punktów szczególnych ani przez maxima ani przez minima swych wartości, gdyż punkty doświadczalne rozrzucone są dokoła linii prostych w granicach błędów doświadczalnych.

Dane dotyczące rozszerzalności, twardości i straty energii w zmiennem polu magnetycznym wskazane zostały w tablicy II i na rysunkach 7, 8 i 9.

Na rys. 7 widzimy, że średnie współczynniki rozszerzalności pomiędzy 17 i 218° (temperatura wrzenia naftaliny) oraz pomiędzy 17 i 444° (temperatura wrzenia siarki), przechodzą kolejno przez maximum i przez minimum, które przesuwają się w kierunku niklu, w miarę wzrostu temperatury.

Na krzywej twardości (rys. 8) zauważyć się daje maximum dochodące do 242 jednostek dla stopu o 25% niklu, poczem twardość szybko spada do 116 jednostek przy 35% niklu i już powoli się zmniejsza aż do czystego niklu ($H=75$).

Wykres strat energii w cyklu histerezy (rys. 9) ma przebieg analogiczny do wykresu twardości.



Rys. 7. Średni współczynnik rozszerzalności pomiędzy 17 i 218° oraz pomiędzy 17 i 444°.

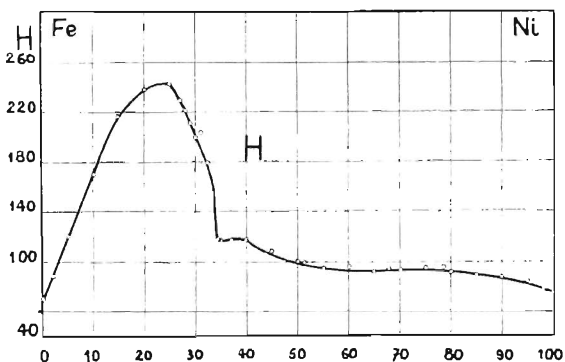
TABLICA II.

$\% Ni$ — procenty ciężarowe niklu, d_1 — średni współczynnik rozszerzalności linjowej pomiędzy 17 i 218°, d_2 — średni współczynnik rozszerzalności pomiędzy 17 i 444°, H — twardość Brinella, W — praca cyklu histerezy w polu ± 150 gaussów odniesiona do 1 cm³ i wyrażona w ergach.

$\% Ni$	$d_1 \cdot 10^6$	$d_2 \cdot 10^6$	H	$W \cdot 10^{-3}$
0	13,05	14,35	70	8,2
2	12,27	13,50	88	10,0
5	11,80	12,82	120	12,0
10	11,42	12,21	169	20,8
15	11,08	11,78	216	48,0
20	10,56	11,10	237	51,6
25	10,57	10,93	242	60,0
27	10,87	11,48	229	42,0
28	11,20	11,75	221	31,6
29	11,70	12,15	210	18,4
30	11,58	12,89	199	10,6
31	10,96	13,47	203	8,6
32	9,66	13,23	178	4,2
34,5	4,13	10,02	117	2,0
35	3,92	9,44	116	2,0
37	3,22	7,55	118	4,4
40	3,68	6,29	117	6,8
45	6,25	7,44	109	4,0
50	9,92	10,55	100	4,8
51,2	10,19	10,92	99	6,0
55	11,50	11,90	94	5,2
60	12,13	12,53	96	3,8
65	12,58	13,03	92	4,8
67,8	12,70	13,35	94	4,1
70	12,76	13,55	93	3,2
75	13,05	14,01	95	3,8
78,5	13,18	14,27	95	3,6
80	13,10	14,25	92	3,0
85	13,25	14,34	89	3,2
90	13,20	14,55	87	3,4
95	13,55	14,95	83	4,8
98	14,05	15,38	76	7,4
100	14,20	15,70	75	7,2

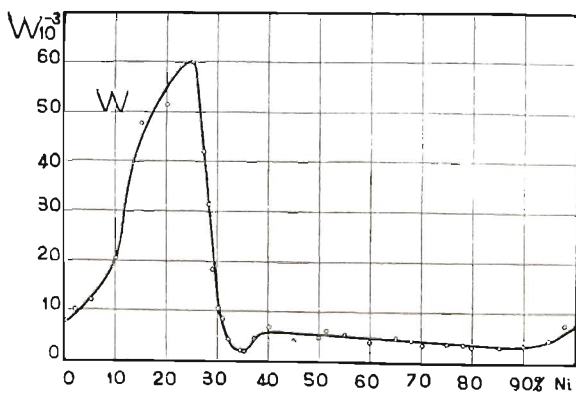
Osiąga on znaczne maximum dla stopu o 25% niklu, szybko spada do 32% i mało się zmienia następnie. Godnym uwagi jest fakt że dla stopów zawierających od 32 do 90% niklu straty przez histerezę są przeciętnie dwukrotnie mniejsze niż dla czystego żelaza, zaś w pobliżu stopu o 35% niklu straty te są nawet czterokrotnie mniejsze niż w żelazie.

Tablica III wskazuje podatność magnetyczną w polach 5, 10, 25, 50, 100, 150, 200, 300, 500 i 800 gaussów.



% wagowy niklu.

Rys. 8. Twardość Brinella.



% wagowy niklu.

Rys. 9. Straty energii w cyklu histerezy w polu ± 150 gaussów.

TABLICA III.

Podatność magnetyczna.

$\%Ni$ — procenty ciężarowe niklu, h — pola magnetyczne w gaussach,
 K — podatność magnetyczna.

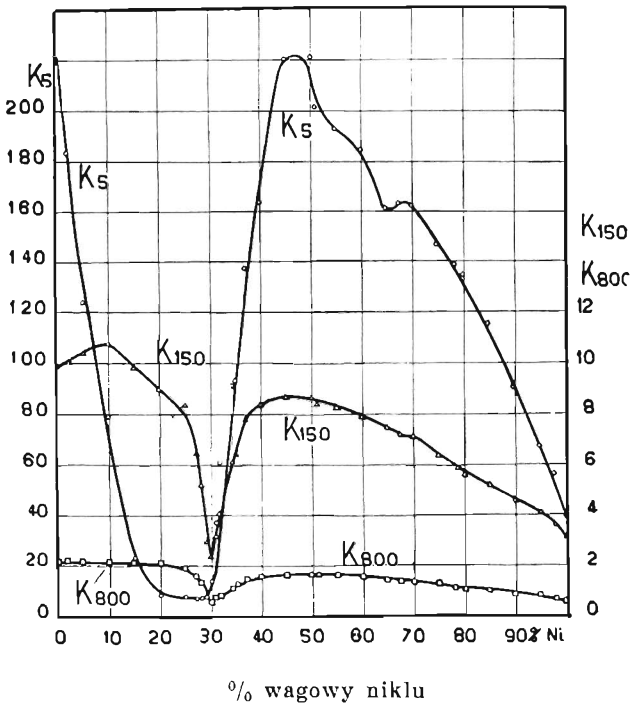
$\%Ni \backslash h$	5	10	25	50	100	150	200	300	500	800
0	223,4	126,8	52,0	27,1	14,3	9,96	7,72	5,38	3,37	2,16
2	184,0	117,7	53,7	28,4	14,5	10,1	7,86	5,50	3,44	2,18
5	124,6	112,5	52,2	28,0	15,0	10,4	8,10	5,65	3,49	2,20
10	78,8	67,7	43,7	24,0	15,1	10,9	8,20	5,62	3,44	2,16
15	23,3	30,6	26,1	19,6	13,2	9,85	7,78	5,45	3,37	2,13
20	9,00	11,5	20,0	16,9	11,9	9,05	7,36	5,21	3,26	2,07
25	8,24	9,35	17,0	15,8	11,1	8,31	6,55	4,75	3,00	1,92
27	7,20	8,40	14,3	13,0	8,77	6,56	5,41	3,85	2,50	1,62
28	7,40	9,00	13,1	10,8	7,00	5,16	4,03	2,93	1,89	1,27
29	8,84	9,63	9,36	6,84	4,16	3,05	2,35	1,65	1,13	0,85
30	14,3	11,4	7,64	5,24	3,35	2,41	1,89	1,35	0,86	0,57
31	37,6	28,1	13,9	7,97	4,44	3,22	2,48	1,76	1,09	0,69
32	61,8	41,4	20,8	11,3	5,96	4,02	3,02	2,03	1,24	0,79
34,5	91,2	60,7	32,6	18,0	9,28	6,23	4,69	3,13	1,88	1,18
35	92,6	66,4	33,9	18,4	9,47	6,35	4,78	3,19	1,92	1,20
37	137,2	87,9	42,2	21,9	11,2	7,79	5,85	3,92	2,35	1,47
40	163,6	102,1	47,6	24,8	12,6	8,40	6,33	4,23	2,54	1,60
45	220,0	120,8	51,6	26,0	13,0	8,72	6,54	4,36	2,6	1,64
50	220,6	119,9	51,0	25,7	12,8	8,59	6,45	4,30	2,58	1,62
51,2	201,4	115,9	49,8	25,2	12,6	8,45	6,34	4,24	2,55	1,60
55	193,2	111,5	49,4	24,8	12,4	8,31	6,24	4,17	2,51	1,57
60	185,0	107,5	46,9	23,7	11,9	7,93	5,95	3,98	2,39	1,50
65	160,6	97,6	44,8	22,4	11,2	7,49	5,63	3,76	2,26	1,42
67,8	163,6	96,4	42,7	21,6	10,8	7,21	5,40	3,61	2,17	1,36
70	162,4	92,8	41,6	21,2	10,6	7,08	5,31	3,55	2,13	1,33
75	146,2	83,7	37,4	19,0	9,54	6,37	4,80	3,20	1,92	1,21
78,5	138,6	79,2	35,3	17,8	8,93	5,95	4,46	2,98	1,79	1,12
80	134,6	75,7	33,4	16,7	8,38	5,58	4,19	2,80	1,68	1,05
85	115,6	67,7	31,1	15,6	7,82	5,22	3,91	2,61	1,56	0,98
90	89,8	51,2	24,1	13,3	6,84	4,57	3,44	2,29	1,38	0,86
95	67,2	40,7	19,8	11,1	6,03	4,06	3,06	2,04	1,24	0,78
98	56,4	33,7	17,0	9,70	5,21	3,55	2,69	1,48	1,09	0,71
100	38,8	24,8	13,8	8,02	4,43	3,10	2,38	1,62	0,98	0,60
P o d a t n o ś ć m a g n e t y c z n a K										

Podatności odpowiadające 5, 150 i 800 gaussom wyobrażone zostały na rys. 10.

Podatność magnetyczna w polu 5 gaussów (K_5) wykazuje płaskie minimum w pobliżu 27% niklu, wydatne maximum w pobliżu 50% niklu i znacznie mniejsze maximum w okolicy składu $FeNi_2$.

W miarę wzrostu pola podatność magnetyczna silnie spada, tak że skala wykresu K_{150} i K_{800} jest dziesięciokrotnie większa niż dla K_5 .

Podatność magnetyczna przy 150 gaussach (K_{150}) przechodzi przez maximum przy 10% niklu, którego nie wykazuje wykres K_5 . Minimum staje się ostrem i przesuwa się do 30% niklu; maximum przy 50% staje się płaskim, zaś w pobliżu składu $FeNi_2$ daje się zauważyć jedynie słabe przegięcie krzywej.



Rys. 10. Podatność magnetyczna K w polu 5, 150 i 800 gaussów.

Na krzywej podatności magnetycznej przy 800 gaussach (K_{800}) daje się zauważyć jako punkt szczególny jedynie minimum przy 30% niklu.

Wnioski. Na wykresach zbadanych przez nas własności fizycznych stopów żelaza z niklem najwyraźniej zaznaczają się punkty szczególne pomiędzy 25 a 35% niklu, nie odpowiadają one jednak określonym związkom chemicznym, gdyż, jak to już stwierdził Chevenard (rys. 3), położenie ich zmienia się z temperaturą. Tak, minimum współczynnika rozszerzalności, bliskie 35% niklu w temperaturze zwyczajnej występuje w 600° w pobliżu 60% *Ni*. Wytlumaczenie tych zjawisk obniżeniem przemiany A_3 żelaza aż do temperatury otoczenia wydaje się całkowicie wystarczającym.

W granicy tego obniżania punktów przełomowych niektóre krzywe na wykresach mogą mieć przebieg anormalny, jeśli zmiana stopu, zajdzie przy pomiarze.

Natomiast pewne fakty zmuszają nas do przyjęcia istnienia związku $FeNi_2$. Stopy o tym składzie bowiem: a) krzepną w stałej temperaturze (rys. 4); b) odpowiadają maximum krzywej, punktów Curie'ego (rys. 2); c) odpowiadają maximum krzywej współczynnika temperaturowego oporu elektrycznego (α , rys. 5); d) odpowiadają minimum krzywej zmiany zdolności termoelektrycznej z temperaturą.

Inne krzywe ani potwierdzają ani zaprzeczają istnieniu tego związku. Przypuściwszy istnienie związku $FeNi_2$, który wydaje się posiadać tę samą siatkę przestrzenną co nikiel, możemy w sposób następujący interpretować budowę stopów żelaza z niklem:

- do 28% *Ni* roztwór stały $FeNi_2$ (lub *Ni*) w żelazie;
- od 28 „ 32% *Ni* mieszanina dwóch roztworów stałych granicznych;
- „ 32 „ 67,8% *Ni* roztwór stały żelaza w związku $FeNi_2$;
- „ 67,8 „ 100% *Ni* roztwór stały niklu w $FeNi_2$.

Kilka punktów szczególnych zauważonych w pobliżu składu Fe_2Ni można wytłumaczyć tem, że tej wartości odpowiada w przybliżeniu granica roztworu stałego żelaza w związku $FeNi_2$.

R É S U M É.

Sur la structure des alliages fer-nickel¹⁾
par MM. IV. Broniewski et J. Smolinski.

Les alliages du fer avec le nickel ont été l'objet de nombreuses études concernant surtout la dilatation et les propriétés magnétiques. Leur structure paraît moins bien connue.

¹⁾ C. R. 196, (1933), p. 1793.

Dans notre étude, comme dans les précédentes, nous nous sommes astreints à mesurer un certain nombre de paramètres sur les mêmes échantillons. Comme métaux constituants nous avons employé le fer et le nickel électrolytiques. L'alliage fondu dans le vide d'un four à haute fréquence, montait dans un tube de silice de 5 mm, comme dans un tube barométrique, lorsque la pression atmosphérique se trouvait rétablie dans le four.

Les échantillons ainsi préparés subissaient une homogénéisation par recuit de 100 heures à 950° dans le vide et un refroidissement lent, en 24 heures, jusqu'à la température ordinaire. Les alliages après traitement montraient, à l'étude micrographique, une seule phase, exception faite des compositions entre 28 et 32 pour 100 de nickel où un mélange de deux phases fut mis en évidence.

Le résultat de notre étude est indiqué sur les figures reproduisant la conductivité électrique et le coefficient de température de la résistance électrique (fig. 5), le pouvoir thermoélectrique et la force électromotrice de dissolution (fig. 6), le coefficient de dilatation (fig. 7), la dureté (fig. 8), les pertes par cycle d'hystérésis (fig. 9) et la susceptibilité magnétique (fig. 10).

La dureté (fig. 8) et les pertes par hystérésis (fig. 9) n'avaient pas encore été étudiées, à notre connaissance, pour l'ensemble des alliages fer-nickel. Les courbes de ces deux paramètres ont une allure sensiblement analogue qui paraît autoriser l'hypothèse d'une dépendance mutuelle de ces deux propriétés. Il est aussi à remarquer que tous les alliages de 33 à 90 pour 100 de nickel ont une hystérésis très faible, inférieure à celle du fer et du nickel.

Les points singuliers les plus importants se manifestent entre 25 et 35 pour 100 de nickel, mais ne paraissent pas correspondre à des composés définis, n'étant pas liés à des compositions fixes, mais se déplaçant avec la température comme l'avait déjà montré M. Chevenard (fig. 3). Ainsi, le minimum du coefficient de dilatation, voisin de 35 pour 100 de nickel à la température ordinaire se manifesterait aux environs de 60 pour 100 de nickel à 600°. Du reste, l'interprétation de ces phénomènes, par l'abaissement des points de transformation du fer jusqu'à la température ordinaire paraît être amplement suffisante.

Par contre, certains faits forcent d'admettre la présence du composé $FeNi^2$. Ainsi les alliages de cette composition: *a*, se solidifient à température constante (fig. 4); *b*, correspondent au maxi-

mum de la courbe des points de Curie (fig. 2); *c*, correspondent au maximum de la courbe du coefficient de température de la résistance électrique (*a*, fig. 5); *d*, correspondent au minimum de la courbe de variation du pouvoir thermoélectrique avec la température.

Les autres courbes n'indiquent pas ce composé, mais n'excluent pas, non plus, sa présence.

En admettant l'existence de la combinaison $FeNi^2$, qui paraît avoir le même réseau que le nickel, la structure des alliages fer-nickel recevrait à la température ordinaire l'interprétation suivante:

Jusqu'à 28 pour 100 de *Ni*, solution solide de $FeNi^2$ dans le fer;

De 28 à 32 pour 100 de *Ni*, mélange de deux solutions solides limites;

De 32 à 67,8 pour 100 de *Ni*, solution solide du fer dans le $FeNi^2$;

A partir de 67,8 pour 100 de *Ni*, solution solide continue du nickel et du $FeNi^2$.

Les points singuliers remarqués au voisinage de la composition Fe^2Ni trouvent leur explication par le fait qu'à cette teneur correspondrait approximativement la limite de la solution solide du fer dans le composé $FeNi^2$.