

非鉄金属および合金

濱住松二郎著

非鉄金属および合金

東北大学名誉教授

工学博士

濱住松二郎著

東京

内田老鶴圃新社

著者略歴

東北大学名誉教授
工学博士
元金属材料研究所員
元学会研究員
元選鉱製錬研究所長

著書
鉄鋼および特殊鋼
物理冶金学

“Nonferrous Metals and Alloys”

昭和47年5月15日 初版印刷
昭和47年5月20日 初版発行



非鉄金属および合金

定価 ¥ 2,800

著者 濱住 松二郎

発行者 内田 悟

印刷者 窪田 達雄

発行所 株式会社 内田老鶴閣新社／東京都千代田区九段北1丁目2番1号
電話（東京）265-3636・262-2889／振替口座東京6371番／郵便番号102
印刷／昭文堂印刷株式会社・製本／佐々木製本所

Published by UCHIDA ROKAKUHO PUBLISHING CO., LTD.
1-2-1, Kudankita, Chiyodaku, Tokyo, Japan
U. R. No. 134-1

(分) 3050 (製) 50024 (出) 0505

序 文

本書の初版は著者が東北大学在職中1944年春に刊行されたのであるが、発行の翌年出版社内田老鶴園が3回にわたる戦災を受け、紙型その他を一切焼失したので、それ以来28年にわたって刊行を中絶してきた。第二次大戦終了後わが国を始め敗戦国は、各国とも旧態を回復することが容易でなかったが、二大戦勝国となった米国とソ連とはいち早く文化の発展と諸学の進歩とに貢献している。この二大国による金属材料の発達 はめざましく、特に航空機やミサイル用金属材料の進歩は刮目すべきものがある。

金属の科学すなわち冶金学と金属材料学とは古代錬金術以来の歴史をもつが、他の科学に比べるとその進歩は比較的遅かった。遅い理由はいろいろあるが、鉄鋼について見ると1600°もの高温下で取り扱うことが主な原因で、ほかの科学では大体上は水の沸騰点を超えず、下は氷点を下がることはいくばくもない。したがって工学部門中でもほかの部門は関連した基礎科学がある。例えば電気、機械、航空工学は物理学を背景とし、工業化学は純正化学を背景とする。ところが冶金学はその背景となる基礎部門をもたない。冶金と化学は近いけれども、炉中の消息を知ることは普通の化学部門ほど容易ではない。

今世紀にはいつから金相学が起り、理論化学のほかに物理的実験法を加味して理学と金属材料学との間に一連の通路を開拓した。このために金属および合金に関する知識は著しく精度と鮮明度とを高めた。また現在開発されつつあるのは金属の転位論で、塑性は固体金属の特性であるが、転位論的に金属固体の強靱性と延展性とを解明し発展させることが大いに期待される。

本書は引続いて刊行される「鉄鋼および特殊鋼」と共に、主として実用非鉄金属および合金について記載したもので、純金属および各種合金の配合、組織、機械的性質、電気的性質、用途、その他を論じた。これによって総合的に非鉄金属および合金の基礎知識を理解して頂けるならば幸いである。

1972 年 春 著 者

非鉄金属および合金

目 次

序 文

第 1 編 ニッケルとその合金

	頁
ニッケル冶金の概要	1~2

第 1 章 ニ ッ ケ ル

Ni の顕微鏡組織——Ni の物理的性質——機械的性質——化学的性質——ニッケルとその不純物——C, Mn, O, S, Fe, Si——ニッケルの造塊および鑄造——可鍛ニッケル	3~8
---	-----

第 2 章 ニッケル合金

Ni-Cu 合金：顕微鏡組織——物理的性質——機械的性質——実用合金——Ni 0~15% 合金——Ni 15~20% 合金——Ni 25% 合金——Ni 30% 合金——Ni 40~45% 合金——Ni 60~75% 合金	9~12
Ni-Fe 合金：顕微鏡組織——この系合金の性質——実用 Fe-Ni 合金——Ni 25% 合金——Ni 33% Cr 1% 合金——Ni 36% 合金——Ni 42~50% 合金——Ni 50% 合金——Ni 78.5% 合金	13~19
高透磁率合金：Perminvar-Elinvar-Hyperco-Permendur	20~23
Ni-Cr 合金：Ni-Cr 状態図——Ni-Cr 合金の性質——熔解鑄造加工	23~25
Ni-Cr-Fe 合金：Ni-Cr-Fe 電熱線——Sweetalloy——Calite——Q-alloy——Illium “G” 熱電対線——電気抵抗線	25~29
Ni-Fe-Mo 合金：Hastelloy A, B, C, D	30~31

第 2 編 銅および銅合金

銅冶金の概要	33~34
--------------	-------

第 1 章 銅

銅の金相学——銅と不純物——O, As, Bi, Pb, Sb——銅の物理的性質——銅の機械的性質——銅の熔解加工——銅の水素禍	35~43
--	-------

第 2 章 真 鍮

真鍮の顕微鏡組織——真鍮の物理的性質——真鍮の機械的性質——真鍮の熔解, 鑄造, 加工——真鍮の時季割れ	44~51
実 用 真 鍮: Tombac (Zn 8~20%)——7:3 真鍮 (Zn 28~32%)——6:4 真鍮 (Zn 38~42%)——真鍮鑄物	51~53
特 殊 真 鍮: 特殊真鍮の顕微鏡組織——鉛入り真鍮——錫入り真鍮——7:3 錫入り真鍮 (Admiralty Metal)——6:4 錫入り真鍮 (Naval Brass)——7:3 Al 入り真鍮 (Albrac)	53~56
高力真鍮 (マンガン青銅): 各種元素の影響——Fe——Mn——Al——Ni	56~58
シルジン青銅:	58~59
洋 銀: 顕微鏡組織——性質——熔解鑄造加工	59~62

第 3 章 青 銅

青銅の顕微鏡組織——青銅の逆偏析——青銅の物理的性質——青銅の機械的性質——青銅の焼入れ——青銅の熔解と加工	63~70
工 業 用 青 銅: Sn 0.5~1.5% 青銅——Sn 2~5% 青銅——Sn 5~7% 青銅——Sn 10% 青銅——青銅鑄物——鐘用青銅——鏡用青銅	70~73

第4章 特殊青銅

鉛 青 銅：Cu-Pb 状態図——低鉛青銅——中鉛青銅——高鉛青銅（ゲルメッ ト）	74~76
アルミ青銅：アルミ青銅の組織——物理的性質——機械的性質——10% アルミ 青銅——熔解鑄造加工	76~80
特殊アルミ青銅	80~81
ニッケル青銅	81~82
Corson 合金と高力青銅線	82~84
高マンガン青銅：Cu-Mn 系状態図——マンガン青銅の性質	84~85
特殊マンガン青銅：Manganin——珪素マンガン青銅——Heusler 合金	86
珪 素 青 銅：Cu-Si 系状態図——珪素青銅の性質——珪銅線——3~4% 珪銅 ——その他	87~89
ベレリウム青銅：Cu-Be 状態図——Be 青銅の性質——Cu-Be 合金の熔解鑄造加工	89~92
カドミウム青銅：	92
耐熱銅合金：	92~94

第3編 アルミニウムとその合金

アルミニウム冶金の概要	95~97
-------------------	-------

第1章 金属アルミニウム

アルミニウムの顕微鏡組織——アルミニウムの物理的性質——アルミニウムの機械的性 質——アルミニウム送電線——アルミニウム箔、板、管、棒——アルミニウムの熔解加工	98~108
---	--------

第2章 鑄物用アルミニウム合金

Al-Cu 合 金：Al-Cu合金の顕微鏡組織——Al-Cu合金の性質——Cu 4.5% 合金 ——Cu 8% 合金——Cu 10% 合金——Cu 12% 合金——Al-Cu合金の熔解	109~115
---	---------

Al-Si 合金：顕微鏡組織——Al-Si 合金の性質——Si 5% 合金——Si 7~10% 合金——Si 13% 合金——Cu Silumin——Silumin β ——Silumin γ ——26 G 合金——Si 12~22% 合金——Al-Si 合金の熔製	115~123
Al-Cu-Si 合金：Al-Si-Cu 合金の顕微鏡組織——Lautal, Alufont, Alcoa	123~125
Al-Zn 合金：顕微鏡組織——Al-Zn 合金の性質	125~128
Al-Cu-Zn 合金：顕微鏡組織——この系合金の性質——鑄造用独逸合金	128~131
Al-Mg 合金：Al-Mg 合金の組織——実用合金——K. S. Seewasser, Titan Seewasser 合金——Hydronalium, B. S. および T. S. Seewasser	131~133
Al-Cu-Ni 合金：顕微鏡組織——Y 合金および RR 合金	133~136
Piston 用軽合金	136~138
Die-Casting 用 Al 合金	139

第3章 鍛造用アルミニウム合金

一般加工用アルミ合金：Duralumin——時効硬化——普通 Duralumin——Duralumin の複元現象——Duralumin の熔解と加工——超 Duralumin——超々 Duralumin——送電線用 Duralumin——Y 合金および RR 合金——防蝕性鍛錬合金	140~156
アルミニウムおよびその合金の腐蝕と防蝕法	156~162

第4編 マグネシウムとその合金

マグネシウム冶金の概要	163~164
-------------	---------

第1章 金属マグネシウム

Mg の物理的性質——Mg の化学的性質——Mg の熔解鑄造加工	165
マグネシウム合金：Mg-Al 合金——Mg-Zn 合金	166~169
エレクトロン：Mg-Al-Zn 系——実用合金——熔解鑄造加工——Elektron の腐蝕と防蝕法——Elektron の用途	169~172

第 5 編 ホワイトメタル

第 1 章 金 属

錫：錫の冶金——錫の熔解と加工——物理冶金学的性質	171~176
鉛：鉛の冶金——鉛の熔解と加工——物理冶金学的性質	176~179
亜鉛：亜鉛の冶金 —— 亜鉛の熔解および加工 —— 物理冶金学的性質 —— 亜鉛の機械的性質	179~183

第 2 章 合 金

Pb-Sn 合 金：鉛錫合金の物理冶金学——白鐵器(Pewter)——ハンダ	184~185
Sn-Sb 合 金：Sn-Sb 系の顕微鏡組織——Britania Metal	186
Sn-Sb-Cu 合金：Sn-Sb-Cu合金の組織——Babbitt Metal	186~188
Pb-Sb 合 金：平衡図と顕微鏡組織——Pb-Sb 合金の時効硬化——Pb-Sb 合金の性質——ケーブル被覆鉛管	188~191
Sn-Pb-Sb 合金：Sn-Pb-Sb 系顕微鏡組織——Sn-Pb-Sb 合金の性質——タイプメタル——軸受け合金	191~196
その他の軸受け合金：亜鉛台軸承合金——Cd 軸承合金	196~197
ダイカスト合金	197~198
易 融 合 金	198~200

第 6 編 貴 金 属

第 1 章 金 と その 合 金

金の冶金概要——金の物理冶金学的性質	201~203
金 合 金：Au-Cu 合金——Au-Ag 合金——Au-Cu-Ag 合金——Au-Pd 合金——Au-Ni 合金——その他の合金——熔解と加工	203~207

第2章 銀とその合金

銀の冶金——銀の物理冶金学的性質	208~210
銀 合 金：Ag-Cu 合金——その他の合金——合金の熔解と加工	210~213

第3章 白金属とその合金

白金の冶金——物理冶金学的性質——白金の化学的性質——白金の熔解と加工	214~217
白金属合金：Pt-Ir 合金——Pt-Rh 合金——Pt-Au 合金——その他の合金	217~219
実用白金合金：白金触媒——スピネレット——白金接点——熱電対線——白金 導火線——理化学器械——装飾用白金	220~222
パラジウムと合金	222

第7編 チタンとその合金

Ti の製錬	223~225
金属チタン	226~228
Ti 合 金：概要——Ti-8Mn 合金——Ti-5Al-2.5Sn 合金——Ti-6Al-4V 合金	228~236
索引	237~239
写真附図	巻末

第 1 編

ニッケルとその合金

ニッケル冶金の概要

ニッケル鉱：ニッケルを含む鉱物も多数あるが、鉱石として工業的に冶金し得る物はわずかに次の二、三種に過ぎない。

- 1) 硫化鉱：黄銅鉱と磁硫鉄鉱との混合物含銅磁硫鉄鉱で、Ni はこのなかに Pentlandite ($2\text{FeS} \cdot \text{NiS}$) として含まれている。次にこれを例示する。

Fe 35%, S 23%, Ni 2~3.5%, Cu 0.8%, 脈石 40%.

- 2) 珪ニッケル鉱：Garnierite ($\text{SiO}_2\text{NiMgH}_2\text{O}$) がこれで、鉱石としての近似組成は次のような物である。

NiO 8%, Fe_2O_3 18%, SiO_2 48%, Al_2O_3 6%, MgO 20%.

ニッケル製錬：金属 Ni の大部分は硫化鉱から採取される。硫化鉱はまず焙焼してその S 含量を 10% 程度に下げ、熔鉱炉または反射炉に装入して鉍(matte)を作る。matte は普通 Cu+Ni 25%, Fe 45%, S 30% 程度を含み、塩基性転炉で吹いて Cu+Ni 80%, S 20% くらいの“Bessemer matte”にし、“Bessemer matte”からさらに Cu を分別し還元するのであるがその方法に 3 種類ある。

- 1) Hybinette Process: Bessemer matte を再び焙焼して大部分の硫黄を駆逐した後これを 10% 硫酸で抽出すると Cu の大部分と少量の Ni が溶け、残渣は還元熔融して陽極板に鑄造し、これを電解して Ni を取る。
- 2) Mond Process: “Bessemer matte”を焙焼し、硫酸を用いて大部分の Cu を溶かし、残渣は酸化ニッケルを主とし、なお少量の酸化銅と鉄を含むから低温還元(Ni の熔融しない程度)を行なって粉末状ニッケルに還元する。すなわち粉末ニッケルは外気と遮断し、 $50^\circ \sim 80^\circ$ に温めて CO ガスを通すと nickel-carbonyl [$\text{Ni}(\text{CO})_4$] を生じて気化する。気化した carbonyl は球状ニッケルを詰めた 200" の分解塔に導いて分解させると Ni は球上に沈殿し CO ガスは再び粉末ニッケルの室に戻して繰り返し作用させる。球状ニッケルはこうして CO ガスを通すごとに沈殿層を作るから Mond の球状ニッケルはその破面が同心円的 Ni 層で成り立つ。
- 3) Orford Process: 米国では“Bessemer matte”を焦炭と岩塩もしくは硝石とともに熔鉱炉に装入して還元熔融を行う。炉中にできた Na_2SO_4 は焦炭で還元されて NaS となり、CuS とともに比重の小さい鉍を作り、NiS は比重が大きいために分れて下層に溜る。すなわち比重の差によって上鉍と下鉍とに分れる。NiS を主とする下鉍は酸化熔融の後、硫酸で抽出して Cu を分離し、

残渣 NiO は反射炉内で木炭を用いて還元熔融をする。熔融ニッケルは鋳塊にし、または水中に流入させて球状ニッケルにして市場に出し、または陽極板に鋳造して電解ニッケルにする。

珪ニッケル鉍は黄鉄鉍を配合して熔鉍炉で製錬し“matte”を作る。この場合は全然銅を含まないために単に matte を焙焼して NiO としてこれを木炭によって還元する。

したがって市場に現われる Ni には a) Mond の球状 Ni, b) 電解 Ni, c) 粒状 Ni (熔融点以下で還元した物), d) Ni 鋳塊 (還元熔融した物) および e) 可鍛 Ni の5種類ある。このうち可鍛 Ni は d と同様還元熔融を行なった物を鋳塊とする前に脱酸して棒、板、線、あるいはパイプなどの半製品に加工して市場に出す。これら市場ニッケルの組成を示すと次のような物で、Ni 中には平均して0.5% の Co を含んでいるが、慣習的に Ni 中に加算している。

名 称	Ni+Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	C (%)	S (%)	Si (%)	製 錬 会 社
Mond nickel	99.57	0.014	0.133	0.23	0.003	0.00	Ludwick Mond
Electrolytic nickel	99.80	0.050	0.150	0.00	0.00	0.00	
Grain nickel	99.17	0.130	0.510	0.00	0.00	0.00	American Nickel Works
Nickel Ingot	99.10	0.130	0.500	0.10	0.06	0.10	International Nickel Co.
Malleable nickel	99.00	0.000	0.550	0.15	0.03	0.10 Mn 0.15	Orford works.

ニッケル地金：近年世界のニッケル産額は逐年増加の傾向にあり、1966年には総額約475,000米屯を産出している。これを国別にすると次表の通りである。

Canada	New Caledonia	U. S. S. R.	U. S. A.	Cuba	S. Africa Rep.	その他	合 計
242,788	66,900	100,000	13,100	16,300	6,000	29,912	475,000

日本の Ni 需要は年約15,000吨でその内40%は国産、60%は輸入である。1966年度の消費内訳は次表の通りである。

ニッケルの用途別消費高 (吨)

鋳鉄配合	ステンレス および 耐熱鋼	磁性合金	耐熱合金	洋 銀	非鉄合金	管板棒線	メッキ	貨 幣	その他	合 計
1,365	3,323	1,038	583	905	1,942	613	4,121	647	372	14,998

第 1 章

ニ ッ ケ ル

Ni 合金は高価なために銅、真鍮のように大衆的には用いられないが、耐蝕性があるすなわち錆びないために高級家庭用具、食器として用いられ、ニッケル合金は耐熱性と電磁気的特性があるために電熱線、抵抗線、熱電対線、通信用電磁気材料として重用される。

顕微鏡組織： Ni の原子配列は面心立方格子で、 360° に純鉄と同様の磁気的変態点がある。この変態は原子内変化で、同素変態とは異なるから顕微鏡組織の変化は起らない。市場 Ni に含まれる程度の不純物はいずれも固溶体として Ni 結晶中に溶け込んでいる。ただ NiO, NiS, および炭素はおうおう過量に含まれて組織中に現われることがあり、また可鍛ニッケル中にはしばしば MgS, MnS, または残滓が灰色の微粒として認められる。

Ni は酸およびアルカリに対して非常に強く、貴金属に準ずる物であるから顕微鏡試片の腐蝕液としては 50~100% の硝酸を用いる。また 50% の醋酸水溶液をもって、濃硝酸を 50~75% に稀釈した物も良く、濃塩酸もまた非常に清澄な腐蝕面を与えるが時間がかかる欠点がある。

物理的性質： ニッケルの物理的性質は第 1 表のように概括される。

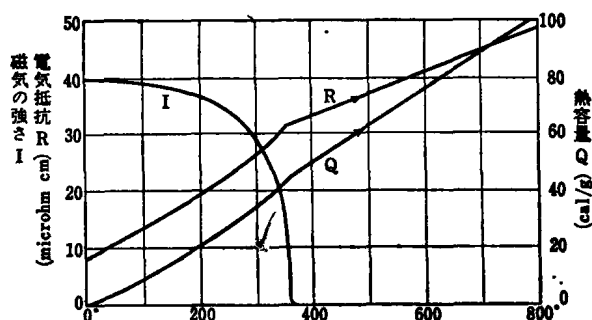
第 1 表

比 重	融解点	線収縮率 (%)	比抵抗(18°) (microhm cm)	抵 抗 の 温度係数 (0°~60°)	熱 伝 導 度 ($\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^{\circ}\text{C}}$)	比 熱 ($\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}}$)	線膨張係数 (0°~100°)	磁 気 変態点
8.84	1452°	2	11.75~ 11.50	0.0047	0.142	0.109	13×10^{-6}	360°

CO ガスで還元した粒状 Ni は多孔質で 7.7~8.0 の比重をもつが、電解ニッケルおよび可鍛ニッケルは 8.7~8.9 平均 8.84 ではば銅と同様である。Ni の融解点は普通 1452° と取るが、不純物の有無によって 1400°~1450° に変化する。磁気変態点もまた普通 360° と取り、この変態のために Ni の物理的性質例えば磁性、熱容量、電気抵抗などは第 1 図のような変化をする。

機械的性質： ニッケルの機械的性質もまた第 2 表のように概括される。これらの性質は無論加工の有無によって変り、加工した物は抗張力 70~80 (kg/mm²) 延伸率 2%, Brinell

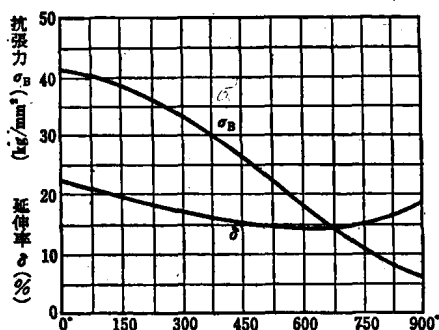
第1図



第2表

弾性率 ($\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$)	抗張力 ($\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$)	降伏点 ($\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$)	延伸率 (%)	Brinell 硬度
22,000	45~55	15~20	50~40	80~90

第2図 (Sykes)



硬度は180から220にも上がる。Sykesの測定によると高温におけるNiの抗張力および延伸率は第2図に示すように変化する。

化学的性質: Niが化学的に極めて安定なことは化学分析にニッケル坩堝を用いることをみてもわかる。一般に酸およびアルカリに対する抵抗が強いが具体的な数字を挙げるとニッケル板の表面100 cm²に対する減量は第3表の通りで、硝酸には最も弱く塩酸硫酸に

はやや強く、苛性ソーダ、アンモニアなどのアルカリには良く耐える。

したがってニッケルを食器類に使ってもほとんど侵されず人体にも害を及ぼさない。ニッケルはまた熱酸化にもよく耐え、500°以下では少しも酸化を受けず1000°に15日間熱した場合でも酸化膜の厚さはわずかに0.007 mmに過ぎない。しかし1000°以上に長時間加熱すると空中の酸素は結晶粒界を伝って内部に侵入し、粒界を酸化するので脆くなり加工性を失う。

ニッケルとその不純物: 市販Niの純度は99.8~99%程度で、不純物は大体固溶体として存在する物と、遊離して存在する物とに分かれる。固溶する物は一般傾向として電気伝導

第3表

溶液の種類および濃度		7日間の減量 (mg) (溶液は毎日取換え)	28日間の減量 (mg) (溶液取換えず)
HNO ₃	N/5	4,200	2,100
HCl	N/5	250	450
H ₂ SO ₄	N/5	250	400
MgCl ₂	N/5	50	100
NaOH	N/5	0	0
CaCl ₂	N/5	80	50
NaCl	N/5	0	0
NH ₄ OH	N/5	0	0
Na ₂ CO ₃	N/5	0	0

度を下げ、硬度、抗張力を増し、延伸率は減少する。遊離して有る物は炭化合物として結晶粒界に析出するから常温あるいは高温における可鍛性を悪くする。

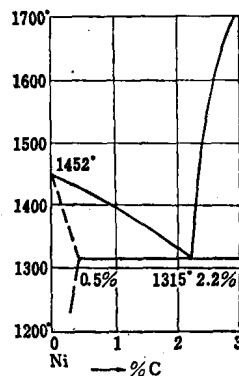
炭素：Ni-C系は第3図に示すように、Fe-C系と同様Ni₃Cなる炭化物があり、これはFe₃Cよりは一層分解しやすいために普通は黒鉛として平衡を保つ。共晶点は1315°、2.2%Cでこの温度における固溶体の飽和点は0.5%、通常0.4%以下の程度では顕微鏡的に見出すことができない。黒鉛として見える程度になるとNiの可鍛性を害するが、固溶体として入る物は材質を靱くし、かえって高温における可鍛性を増す。このた

めに反射炉でNi製錬を行うところでは、炭素量を0.1~0.3%残存するように加減し、これを“tough pitch state”といっている。

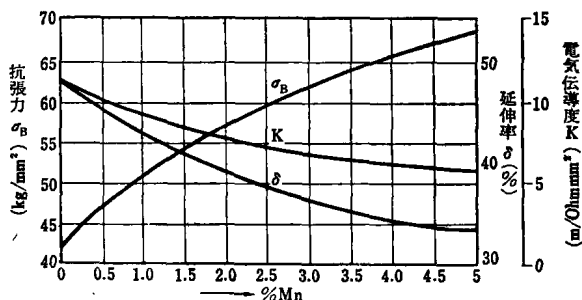
マンガン：Mnは可鍛ニッケルを作るとき脱酸剤として加える。過剰に入っても湯流れを良くし、凝固後も靱くなり割れを起さない効果がある。また熱酸化に対する抵抗を増し、火焰中の硫黄に対する抵抗も強くなる。したがって可鍛ニッケルのある物はMn 1~6%の多量を含み、これらはまた発動機の“spark point”として用いられる。NiとMnはすべての割合に固溶し、Mn 10%くらいまで加えても加工性を害しない。第4図はMnを加えた時の抗張力の増加、延伸率および電気伝導度の減少を示す。

酸素：酸素は常にNiOとしてNiと共晶を作り、共晶点は1438°、1.1%NiOと測定

第3図 (Hansen 篇)



第4図 (Sykes)



うに Ni_3S_2 なる硫化物を作り、Ni との共晶点は 645° 、21.5% S、この温度における固体溶解度は 0.5%、常温ではほとんど零である。 Ni_3S_2 には 553° に変態点がある。 Ni_3S_2 は共晶粒として、あるいは溶解度線によって析出した物は写真第2図に示すように結晶粒界に薄膜として存在する。

もし Mn をもって脱酸するならば MnS となり、 MnS は Ni と 1325° 、3% S に共晶を作る。市場の Ni 中では硫黄がわずかに 0.025% (0.05% Mn) あっても顕微鏡的に MnS の粒として見出すことができる。 Mg で脱酸するときは MgS として Ni 結晶中に分布する。 MnS あるいは MgS は写真第3図、4図に示すように粒状であるから S が 0.05% 程度あっても可鍛性を害しない。しかし Ni_3S_2 として存在する時は粒界に薄膜を作るために 0.01% S でも高温鍛錬ができない。したがって Ni の脱酸には多少とも Mg を用いることが必要である。

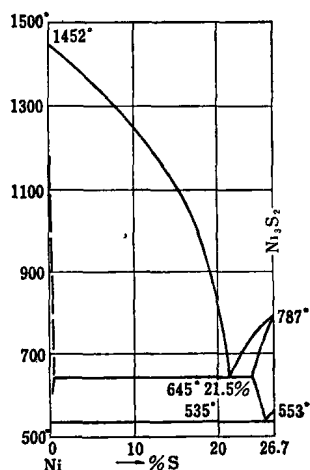
鉄: 鉄は鉱石から、あるいは製錬中使用器具類から入るので、1% くらいまでは性質に影響しない。いうまでもなく固溶体として完全に Ni 結晶中に溶解するからである。また市場 Ni 中には平均 0.5% の Co を含んでいるが、Ni と Co は同族元素であってすべての性質が類似し、互いに固溶体を作るからこの程度では電気伝導度が下がる以外、Ni の性質には少しも影響しない。

珪素: Si は第6図のように Ni_3Si なる化合物を作り、 1150° 、Si 10.6% に共晶点がある。共晶温度で Si 7.5%、 800° で Si 6.1% の溶解度がある。反射炉製錬を行なった Ni 中には普通 0.25% 以下の Si が含まれているが、この程度はなんらさしつかえない。珪素

せられ球状ニッケルまたはニッケル鑄塊中に粒状共晶を作る物は、著しく Ni の可鍛性を害する。このために Mg あるいは Mn をもって脱酸する。写真第1図は可鍛ニッケル中に現われた NiO 粒を示している。

硫黄: Ni-S 系は第5図のよ

第5図 (Hansen 編)



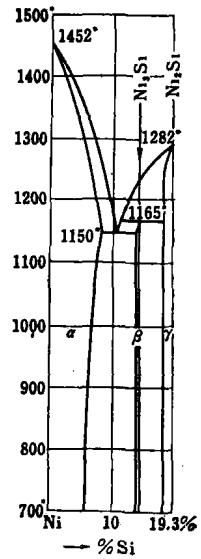
含量が3%以上になると工業的には常温および高温ともに可鍛性を失うのは脆い Ni_2Si 化合物物として含まれるからである。

ニッケルの造塊および鑄造： 熔解には高周波炉を用い、鑄造には、脱酸がもっとも肝要である。特に Ni 中の炭素含量は重要であるから、反射炉熔解では木炭を加えあるいは NiO を加えて C を 0.1~0.3% の程度に加減する。脱酸は Mn ならば通常装入量の 0.2%, Mg ならば 0.1% 程度を加える。これらは熔解のたびごとに酸化状態を推測して臨機に加減すべき物である。脱酸すれば気泡は発生しないが、収縮によるパイプはかなり深くなる。したがって鑄物製作では押湯を高くし、あるいは押湯を保温して収縮を補充することが必要である。鑄型は鋼鑄物と同様乾燥型を用い、縮み代は 2%, 鑄込み温度は 1500° 前後とする。

鑄塊は鋼同様 $1100^{\circ}\sim 1200^{\circ}$ に加熱し高温で圧延あるいは鍛錬を行う。圧延の要領は全く鋼と同様で、鍛錬には水圧機よりも迅速作動する気鍛が有利である。高温で大体加工した物は常温加工で規定寸法に仕上げる。管の製造もまた鋼管と同様高温で押し抜き、常温で引き抜く。常温加工をすると硬化するから焼鈍軟化が必要で、焼鈍温度は通常 $700^{\circ}\sim 900^{\circ}$ を用いる。

第7図は常温圧延による強さ硬さの増加を示し、第8図は約 70% 常温圧延した板を種々の温度に 30 分間焼鈍した時の軟化を示す。これによること約 650° 附近が再結晶温度で $800^{\circ}\sim 900^{\circ}$ が完全焼鈍温度である。焼鈍には鉄箱を用い、少量の木炭粉末を入れ密閉して酸化を防ぐ。また必要なときは水素ガスを通じて還元性にし光輝焼鈍 “bright annealing” を行

第6図 (Hansen 編)



第7図 (Sykes)

