

の温度が 600°C の場合にはその低下の傾向が顕著になり、カーバイトの粒界析出による影響が明らかに認められる。14Mn-6Ni-4Cr 鋼は加工温度以上では歪取焼鈍を行なっていないが、加工温度以下の場合の機械的性質はいずれも加工のままと差異がなく、本鋼種においても加工温度以上の温度では恐らく前記 2 鋼種と同じような傾向を示すものと推定される。

V. 結 言

タンビン発電機に使用される非磁性保持環用材料の中から、もつとも広く用いられている 8Mn-8Ni-4Cr, 18Mn-Cr, および 14Mn-6Ni-4Cr 鋼, 計 3 鋼種を選び、引張試験片を用いて常温から 500°C までの温度で引張加工を施した後、常温の引張試験を行ない、各鋼種の冷間加工時の変形抵抗、および冷間加工硬化特性におよぼす溶体化処理条件、冷間加工温度、および歪取焼鈍の影響を調査した。実験結果をまとめると次の通りである。

1) 冷間加工時の変形抵抗は、300~500°C の温度域では 8Mn-8Ni-4Cr 鋼がもつとも大きく 14Mn-6Ni-4Cr 鋼, 18Mn-4Cr 鋼の順に小さいが、常温では 18Mn-4Cr 鋼が最大値を有する。

2) 溶体化温度からの冷却速度の影響を調べた結果、8Mn-8Ni-4Cr 鋼および 14Mn-6Ni-4Cr 鋼はその影響

がほとんど認められないが、18Mn-4Cr 鋼では加工温度の低い場合にのみ急冷した方がすぐれた機械的性質を示した。

3) 冷間加工温度による加工硬化特性の変化は 8Mn-8Ni-4Cr 鋼, および 14Mn-6Ni-4Cr 鋼では加工温度の上昇とともに強度は増加し、伸び、絞りは低下するが 18Mn-4Cr 鋼のみは逆に常温で加工した場合がもつとも大きい硬化度を示した。これら鋼種の冷間加工硬化度は加工温度 300~500°C の間では 8Mn-8Ni-4Cr 鋼が最大であるが、常温の場合には 18Mn-4Cr 鋼がもつとも大きい。

4) 冷間加工後の歪取焼鈍温度については、加工温度 400, および 500°C に対してそれ以下の場合にはほとんど影響はないが、加工温度、ないしそれ以上温度が高くなるにつれて伸び、絞り、耐力値が低下する傾向を示し 600°C の温度ではカーバイトの粒界析出による脆化がいちじるしい。

文 献

- 1) M. KRONEIS and R. GATTRINGER: Stahl u. Eisen, 81 (1961) 7, p. 431~445
- 2) H. FIEDLER and G. RICHTER: Neue Hütte Heft, (1960) 1, p. 21~31
- 3) 日下: 特殊鋼, 9 (1960) 6, p. 56~60
- 4) 山中, 日下, 外岡: 鉄と鋼, 45 (1959) 3, p. 301~303

各種純鉄の諸性質*

(純鉄の研究—I)

草川隆次**・大谷利勝***

Properties of Various Pure Irons.

(Study on pure iron—I)

Takaji KUSAKAWA and Toshikatsu OTANI

Synopsis:

Recent iron and steel alloys are very complicated. It is necessary to research the fundamental properties of iron for the development of these alloys.

For this purpose the properties of various kinds of commercial and trial-manufactured pure irons were investigated at first.

Pure iron contains generally C, Si, Mn, P, S, Ni, Mo, V, Ag and Sn as impurities.

Mechanical properties of full annealed pure iron are approximately as follows. Hardness: HRB 30, tensile strength: 30 kg/mm², elongation: 50%, reduction of area: 70%.

Ultrahigh purity iron (Fe>99.99%) is high in work hardening rate and has good corrosion resistance.

* 昭和38年4月本会講演大会にて発表 昭和38年7月1日受付

** 早稲田大学理工学部, 工博 *** 早稲田大学理工学部

I. 緒 言

最近の鉄鋼材料は非常に複雑化しており、鉄を主成分とした多元系合金がいちじるしく多くなっている。そのため基礎的に諸性質を分析、検討することが困難になってきた。ここでその主成分である鉄に対しても純粹にその性質を明らかにする必要にせまられているように思われる。そのため本研究は鉄を大気溶解精錬、各種真空溶解、zone-refining などにより精錬してその基礎的性質を調べ、純鉄に対する用途の開発を考えるとともに、それらの純鉄を合金化した鉄鋼材料を従来のものと比較再検討することを目的としたものである。

純鉄は現在迄主として電磁気材料として使用されてきた。また加工性が良いので戦時中薬きょうとして使用することが研究され、現在でもこの性質を生かした用途の研究が行なわれている。一方耐食性もよいので化学工業用材料に使用することも研究されている。純鉄は電気炉精錬、電解、直接還元などで造られてきたが、最近では純酸素製鋼法の発達によって安価で大量の純鉄の製造も可能となった。そのため素材としての用途の開発も進めるべきであると考えられる。

今回はその第一段階として市販および試作した各種純鉄について種々の試験を行ないその諸性質を調べた。

II. 試料および実験方法

純鉄には製造方法および精錬の程度により種々のものがある。これら純鉄を製造方法により分類すると次のようになる。

1. 和鋼法によるもの (庖丁鉄)
2. 電気炉精錬によるもの
3. 電解によるもの (電解鉄)
4. 酸素製鋼法によるもの
5. 直接還元によるもの
6. 化学的方法によるもの

さらにそれらを各種真空溶解、水素処理、zone-refiningなどで純度を上げているものもある。

供試試料としては昭和15年頃和鋼法によつて製造された庖丁鉄、各種市販純鉄、および電解鉄を溶解した試作純鉄を用いた。供試純鉄の化学組成を Table 1 および Table 2 に示す。

これら純鉄について次の各種試験を行ない、比較検討した。

1. 機械的性質試験

受け入れのままおよび完全焼なまし後 (940°C × 2h) の試験を行なった。

i) 硬さ試験

Rockwell B scale にて測定した。

Table 1. Chemical composition of pure irons (%)

Specimen	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Remarks
A	0.06	0.05	0.002	0.005	0.004	0.082	0.014	Hochotetsu
B	0.010	0.007	0.007	0.006	0.007	—	0.007	
C	0.025	0.25	0.015	0.013	0.005	0.013	0.010	20mm φ
D	0.005	0.003	0.003	0.003	0.004	—	—	Electrolytic iron-air melt
E	0.01	0.01	0.05	0.010	0.008	0.5	—	22mm φ
F	0.016	0.007	0.02	0.006	0.011	—	0.06	19mm φ
G	0.015	0.018	0.04	0.013	0.007	—	0.05	16mm φ
H	0.0125	0.12	0.142	0.011	0.006	0.067	0.014	19mm φ
I	0.012	0.011	0.14	0.01	0.006	0.06	0.015	19mm φ
J	—	0.0005	0.0003	—	—	—	0.0001	Mg 0.0001, Ni 0.0001, Ag < 0.0001 Fe > 99.99 5mm φ

Table 2. Chemical composition of pure irons (Spectroscopic analysis)

Specimen	Be	Ag	Cr	Co	Ni	Sn	Ti	V	Mo
A	—	4	—	—	6	4	—	3	1
B	1	4	—	1	5	5	2	3	1
C	1	4	—	1	4	4	2	3	1
D	—	2	—	—	4	2	1	1	1
E	2	4	1	1	6	5	2	4	1
F	1	4	—	—	5	4	1	3	1
G	1	3	—	—	5	4	2	3	1
H	1	4	2	1	5	5	2	3	1
I	1	4	1	1	5	5	2	3	1
J	1	4	—	1	5	5	2	3	1

ii) 引張試験

JIS 4号変形引張試験片 (D=10mm) による引張試験を行ない、引張強さ、伸び、絞り、を測定した。

iii) 加工硬化率測定試験

完全焼なましをした 14mm φ×14mm の円柱状試験片 (試料Jのみ 5mm φ×5mm) を 50% 冷間圧縮加工した後、加工前の硬さと比較して加工による硬化率を求めた。

2. 組織検査

純鉄の組織検査としてフェライト結晶粒度測定と非金属介在物検査を行なった。

Table 3. Formulas for artificial sea water.

Stock solution	
Potassium chloride	10 g
Potassium bromide	45 g
Magnesium chloride	550 g
Calcium chloride	110 g
Sterile distilled water to make 1 l	
This stock solution is used with other chemicals to make the synthetic sea water of following composition:	
Sodium chloride-NaCl	23 g
Sodium sulfate-Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	8 g
Stock solution	20cc
Sterile distilled water to make	1 l

(Navy department specification 44T 276, July 1, 1940)

i) フェライト結晶粒度測定 (JIS 法による)

ii) 非金属介在物検査 (JIS 法による)

3. 耐食性試験

試料を完全焼なまし後、14mm φ×14mm に加工し、表面積、重量を測定後、次に示す各種試験を行ない、単位表面積当りの重量変化を求めた。なお試料Jは入手試料の寸法上他のものより小さい試験片となつたが、表面積と試験液量の比は等しくなるようにした。また比較のため軟鋼と鋳鉄を同時に試験した。

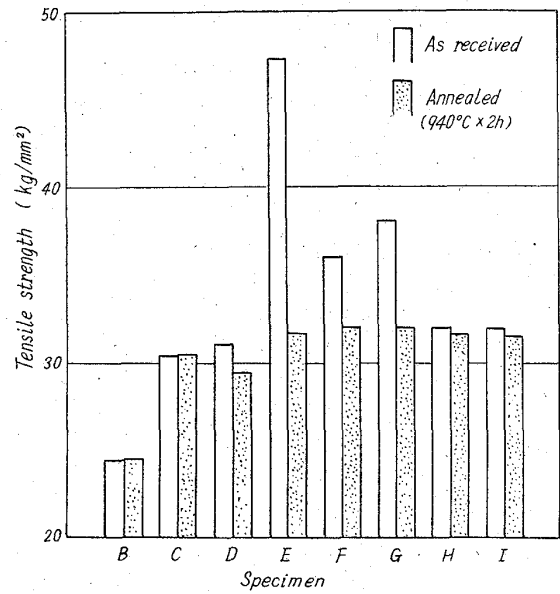


Fig. 2. Tensile strength of pure iron.

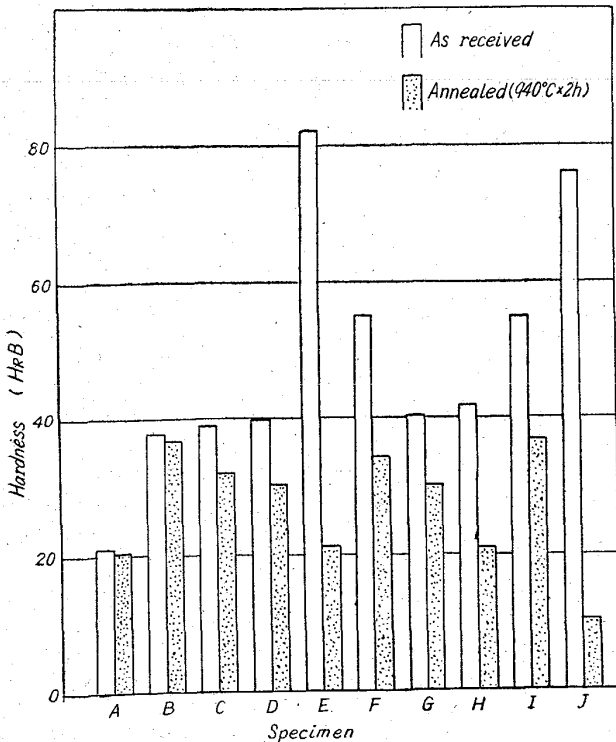


Fig. 1. Hardness of pure iron.

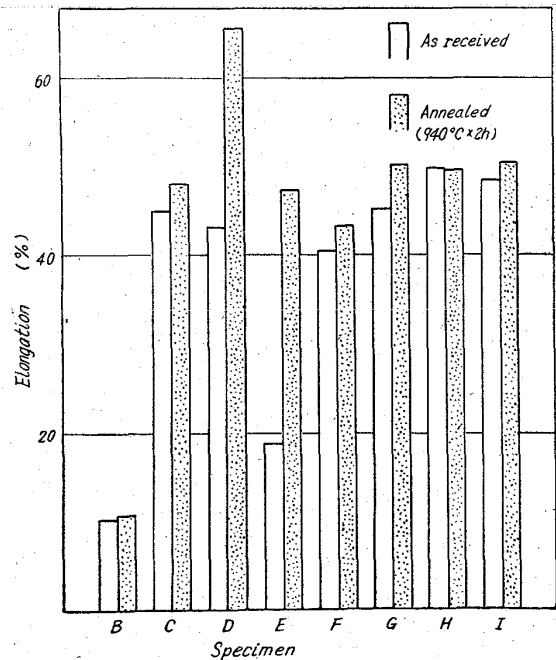


Fig. 3. Elongation of pure iron.

i) 大気腐食試験

試験片を研究所の屋上に雨のかからない状態で15日間放置し、重量変化を測定した。

ii) 耐塩酸試験

1N, 15°C の HCl 中に試験片を 5h 浸し、腐食減量を測定した。

iii) 耐海水腐食試験

Table 3 に示す米国海軍の規格に基づいて人工海水を調

製し、その中に試験片を 50h 浸し、とり出し後 10% クエン酸アンモン sol で被膜を溶出して乾燥後秤量した。

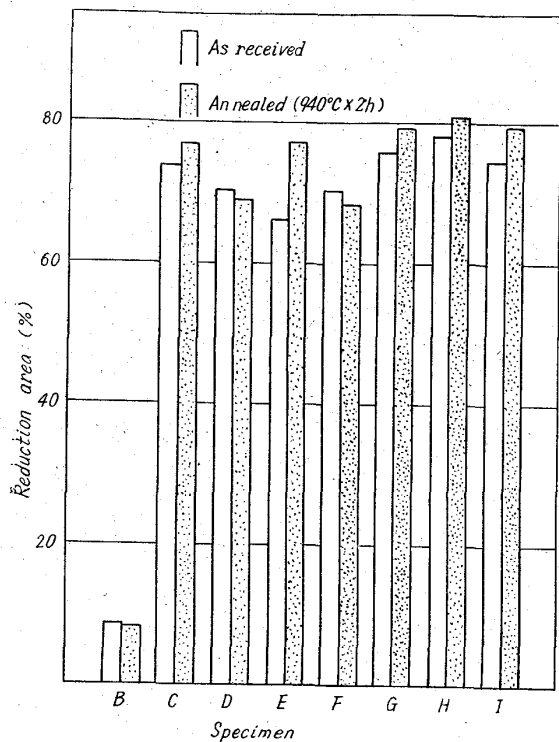


Fig. 4. Reduction of area of pure iron.

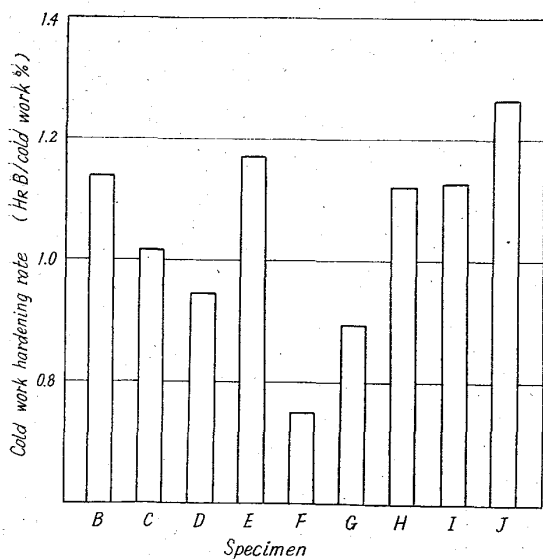


Fig. 5. Cold work hardening rate of pure iron (cold worked 50%).

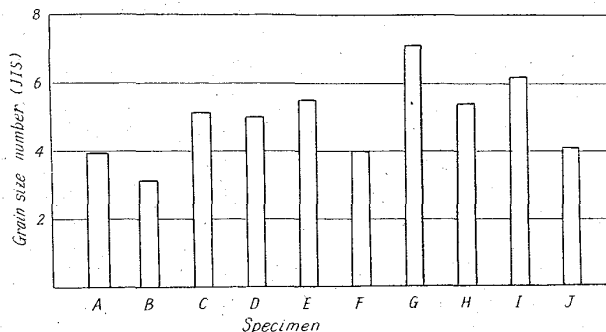


Fig. 6. Ferrite grain size of pure iron.

Table 4. Areal proportion of nonmetallic inclusion in pure iron. (%)

Specimen	d A _{60×400}	d B _{60×400}	d C _{60×400}
A	1.175	0.208	0.254
B	0.010	0.018	0.030
C	0.008	0.024	0.038
D	0.008	0.004	0.008
E	0.004	0.004	0.008
F	0.004	0.060	0.082
G	0.004	0.010	0.040
H	0.004	0.008	0.016
I	0.004	0.008	0.016
J	0.000	0.000	0.000

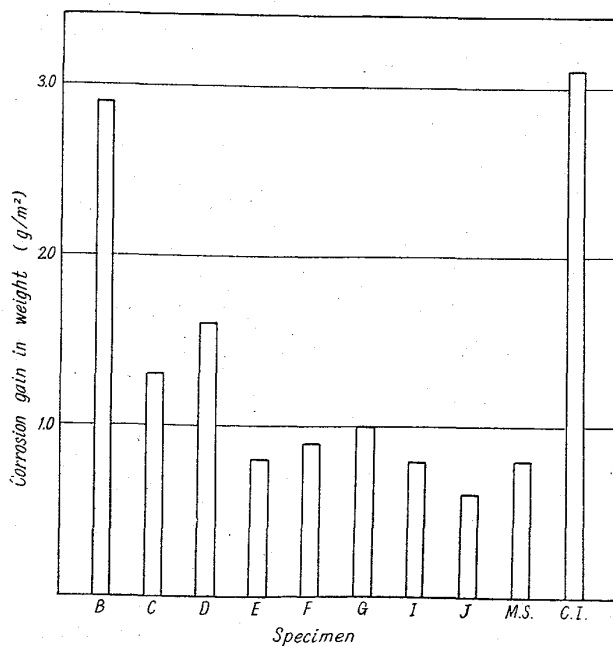


Fig. 7. Corrosion of pure iron in the air (15 days).

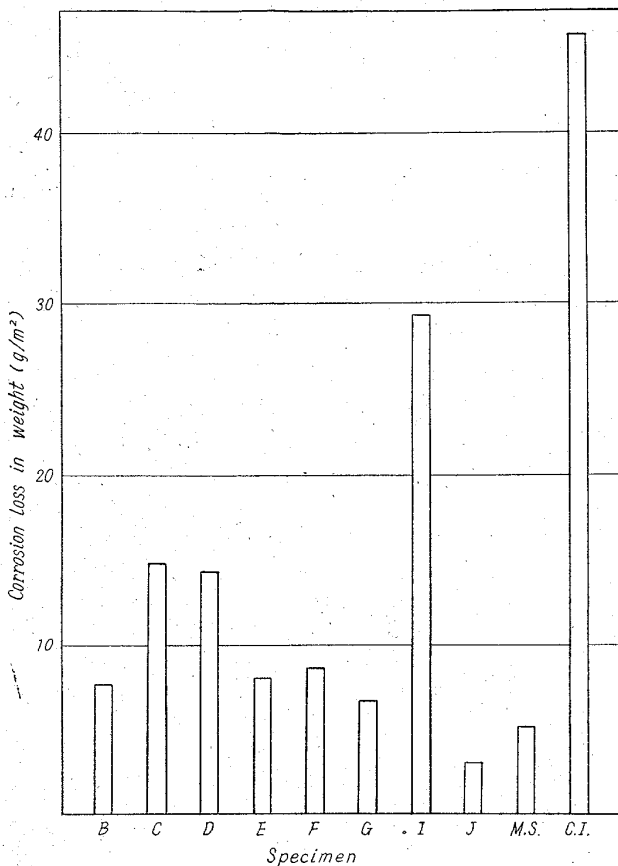


Fig. 8. Corrosion of pure iron in 1N HCl for 5h (15°C).

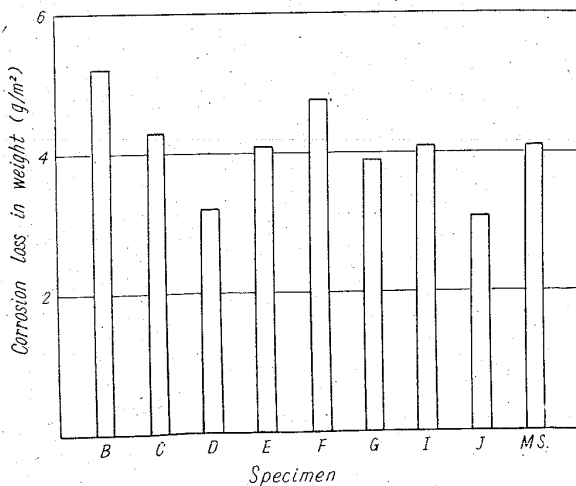


Fig. 9. Corrosion of pure iron in sea water for 50h (15°C).

III. 実験結果および考察

1. 化学組成

Table 1 および Table 2 において試料 C は試料 B を、試料 G は試料 F をそれぞれ脱酸したものである。Table 1 により明らかなように脱酸することにより不純物が増加している。この場合は Si, P の増加がいちじ

るしい。今回の試料中では試料 J が $Fe > 99.99\%$ でもつとも高純度である。Table 2 は Table 1 に示してある元素以外の元素についての分光分析による定性分析結果である。数値の大小は化学組成(%)の大小を示し、一つの元素については数値の大なるほど多量に存在することを示すが、定量的なものではないので他の元素との多少を比較することはできない。これらはいずれも定量的にはほとんど分析できないほど微量である。一例を示すと試料 J の Ni は 5 となつているが定量分析結果は 0.0001% である。Table 2 によるとこれら純鉄中には不純物として Ag, Ni, Sn, V, Mo は全試料中に存在し、Be, Ti は大部分の試料に、Cr, Co は一部の試料に含まれている。庖丁鉄(試料 A)と電解鉄(試料 D)は Be, Cr, Co を含有していない。最高純度の試料 J にも Cr 以外はすべて存在している。

2. 機械的性質

i) 硬さ

Fig. 1 は受け入れたままの状態および完全焼なまし後の硬さの測定結果を示す。受け入れたままの状態ではかなり差があるが、完全焼なましをすることにより大部分の試料はほぼ $HrB=30$ となる。高純度の試料 J は受け入れたままの状態では硬さが比較的大であつたにもかかわらず、焼なまし後はいちじるしく硬さが小となつている。

ii) 引張強さ

Fig. 2 は受け入れたままの状態および完全焼なまし後の引張強さを示す。純鉄は一般に弱いといわれているが、試料 E のように約 50 kg/mm^2 の強度を有するものもある。焼なましをすることによりほとんどの試料が約 30 kg/mm^2 の強さとなる。試料 B は例外的に低い値となつているが、これは後に述べるように結晶粒度が粗大化しており、脆くなつているものと思われる。

iii) 伸び、絞り

受け入れたままの状態および焼なまし後の伸び、絞りを Fig. 3 および Fig. 4 に示す。純鉄は伸び、絞りが大であり、焼なましにより伸び約 50%、絞り約 70% となつている。試料 B は引張強さの場合と同様例外的に低い値となつているが、やはり結晶粒度粗大化のためと考えられる。

iv) 加工硬化率

Fig. 5 は完全焼なましをした試料の 50% 冷間加工による硬さの増加を示す。純鉄は加工硬化率が大き、とくに高純度の試料は高い値となつている。純鉄の純度と加工硬化は関係があるようであり、今後研究する必要があると考えられる。

2. 組織検査

i) フェライト結晶粒度

Fig. 6に完全焼なまし (940°C × 2h) 後のフェライト結晶粒度測定結果を示す。純鉄の結晶粒度は製造方法、微量不純物の影響などによりかなり異なっている。試料Bは結晶粒度が粗大化しており、前述の機械的性質の原因となつているものと考えられる。

ii) 非金属介在物

JIS法に基いて行なつた非金属介在物検査の結果をTable 4に示す。

試料A (庖丁鉄) にはかなりの非金属介在物が存在するが、他の試料は非金属介在物が少ない。最高純度の試料Jはこの方法では非金属介在物が全く検出できなかった。

4. 耐食性試験

比較のため同時に試験した軟鋼および鑄鉄 (球状黒鉛鑄鉄) の化学組成をTable 5に示す。

Table 5. Chemical composition of mild steel and spheroidal graphite cast iron for the corrosion test (%).

	C	Si	Mn	P	S
Mild steel	0.21	0.32	0.45	0.035	0.018
Spheroidal graphite cast iron	3.43	3.12	0.24	0.053	0.010

i) 大気腐食試験

Fig. 7は大気腐食試験結果を示す。これによると純鉄は球状黒鉛鑄鉄よりも耐大気腐食性が良く、軟鋼と比較するとこれより良いものもまたこれに劣るものもある。最高純度の試料Jは耐大気腐食性が非常によい。

ii) 耐塩酸試験

耐塩酸試験結果をFig. 8に示す。これによると純鉄

は球状黒鉛鑄鉄よりも耐塩酸性が良く、軟鋼より劣るが高純度の試料Jは軟鋼よりもさらによい値を示している。

iii) 耐海水腐食試験

Table 3に示した人工海水中の腐食試験結果をFig. 9に示す。これによると純鉄の耐海水腐食性は軟鋼とほぼ同程度であるが、高純度の試料Jはこれらより一段とよい値を示している。

IV. 結 言

市販および試作した各種純鉄の諸性質を比較検討した。その結果の要約を次に示す。

1. 純鉄中には通常不純物として C, Si, Mn, P, Sのほか, Ni, Mo, V, Ag, Sn が存在し、多くの場合 Al, Cu, Ti, Be も存在する。
2. 完全焼なましをした純鉄の機械的性質はほぼ硬さ = HrB 30, 引張強さ = 30 kg/mm², 伸び = 50%, 絞り = 70%である。
3. 純鉄は高純度になり Fe > 99.99% 程度になるとそれ以下の純度のものとはかなり性質が異なってくる。
4. 純鉄は加工硬化率が大でとくに高純度のものはその傾向が強い。純鉄の純度と加工硬化性は関係があるようであり、今後研究する必要があると思われる。
5. 純鉄は Fe > 99.99% 程度高純度となると耐大気腐食性, 耐塩酸性, 耐海水腐食性がかなり向上する。

文 献

- 1) T. LYMAN: Metals Handbook 8th Edition 1, p. 1206~1212
- 2) The Armco International Corp: Magnetic Ingot Iron for D-C applications
- 3) 日本鋼管: NK純鉄
- 4) 進藤, 奈古屋, 石井: 日曹製鋼技報, 1 (1961) 1, p. 57~70