

# 鐵 と 鋼 第二十六年 第二號

昭和十五年二月二十五日發行

## 論 說

### 高クロム鑄鐵の實用的研究

(日本鐵鋼協會第 22 回講演大會講演 昭和 14 年 9 月)

内 藤 逸 策\*

#### A PRACTICAL STUDY ON HIGH CHROMIUM CAST IRON.

*Itusaku Naito.*

**SYNOPSIS:**—This experiment was carried out with two objects, one is for obtaining more durable heat-resisting casting by changing the chemical composition in high chromium cast iron, and the other for obtaining good wear-resisting cast iron by this high chromium alloy. For the heat resistance, the oxidation at a high temperature and the toughness were studied by means of the thermo-balance method and impact testing.

The following result was obtained as a desirable composition:—

Carbon 2.0 to 2.4 per cent, chromium 22 to 26 per cent, silicon 0.6 to 0.8 per cent manganese 1.0 to 2.0 per cent and aluminium 0.5 to 1.0 per cent.

For the wear resistance, it is necessary to soften the material by annealing to ensure machining, and after the completion of machining, it is also necessary to harden it by air cooling. For this purpose, the effect of chemical composition and heat treatment on the hardness or the bending strength were studied, and the following composition was obtained as a desirable one:—

Carbon 1.8 to 2.2 per cent, silicon 0.4 to 0.8 per cent, manganese 0.4 to 0.8 per cent and chromium 17 to 22 per cent.

**緒言** C 約 2% 以上 Cr 約 15% 以上含有する所謂高 Cr 鑄鐵が耐蝕性並に耐熱性に優れて居ることは既に Valenta,<sup>1)</sup> Houdremont<sup>2)</sup> and Wasmuh 並に Smith<sup>3)</sup> 等により報告されて居るが、本研究は實用的見地から次の二つの目的を以て本鑄鐵の改良に就て行つたものである。其の一つは C・Cr の兩主成分のみならず Mn・Ni・Cu・Al 等の成分を添加増減し、より優秀な耐熱鑄物を得んとしたのであり、他の目的は從來本合金は加工困難と見られて居たものを適当な成分と熱處理により加工容易なものとし且加工後簡単な空中放冷により高硬度のものとし耐摩鑄鐵として使用せんとしたのである。耐熱鑄物としては熱天秤により酸化度を驗し、且其の衝擊値をも試験し、強靱にして耐熱性の良好なる成分の決定を行つた。又耐摩鑄鐵としては各成分並に熱處理による硬度の變化を測定し次いで適當

な硬度變化をなす成分のものに就き其の機械的性質を驗し之れにも適當な成分の決定を行つたのである。

**耐酸化性** 此の合金鑄鐵の耐酸化性の大きなることは既に認められて居る處で、適當な成分のものは 1,000°C の長時間加熱にも充分耐へ得るのである。實驗は Cr・C・Mn・Ni・Cu・Al 等の成分の増減による酸化物生成の比較試験を熱天秤を使用して行つた。

試料は兼二浦低磷銑、軟鋼並にフェロクロムを主材とし之れに上記の各成分を夫々添加しタンマン爐で溶解し砂鑄型で鑄造した。各試料の成分は第 1 表の如くであつた。かゝる各試料を臼で碎き細粒とし、篩により約 3mm の目を通り約 1.5mm の目を通らざるもののみを集め之れを各 4gr づつニクロムの細線で作つた籠に入れ熱天秤の爐内に吊した。爐の通風は對流による自然通風とし、温度は 950°C で行つた。かくして加熱中の重量の増加を以て大體の酸化物生成の量に比例するものとし之れを其の材質の酸化度とした。勿論かゝる方法では試料の脱炭による重量の變化が伴ふはずであるが、今は其の影響の相違は少いものとして考

\* 特殊鑄物株式會社

<sup>1)</sup> Valenta, Iron and Steel Inst. (Carnegie Scholarship Memoirs) 19, 1930.

<sup>2)</sup> Houdremont and Wasmuht, Giesserei, 19, 1932.

<sup>3)</sup> Smith, Metal Progress, Nov. 1938.

第 1 表

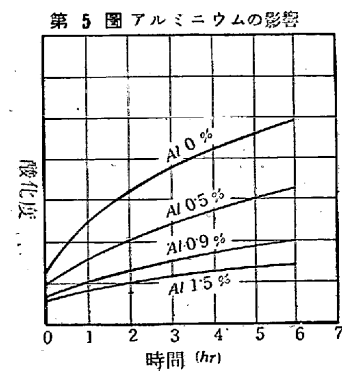
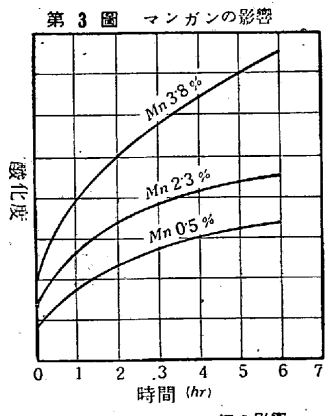
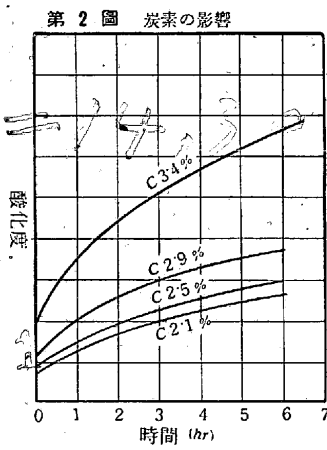
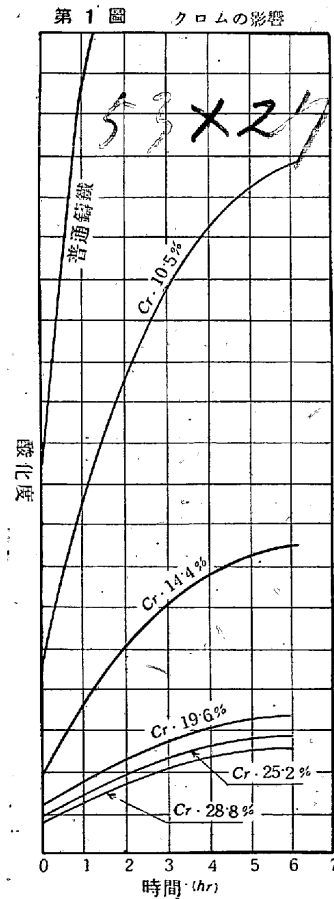
試料番號	C	Cr	Si	Mn	Ni	Cu	Al
C 1	2.1	20.5	0.2	0.3	0	0	0
C 2	2.5	—	—	—	—	—	—
C 3	2.9	—	—	—	—	—	—
C 4	3.4	—	—	—	—	—	—
Cr 1	2.5	10.5	0.2	0.3	0	0	0
Cr 2	—	14.4	—	—	—	—	—
Cr 3	—	19.6	—	—	—	—	—
Cr 4	—	25.2	—	—	—	—	—
Cr 5	—	28.8	—	—	—	—	—
Si 1	2.4	21.0	0.9	0.2	0	0	0
Si 2	—	—	2.8	—	—	—	—
Si 3	—	—	4.5	—	—	—	—
Si 4	—	—	—	—	—	—	—

試料番號	C	Cr	Si	Mn	Ni	Cu	Al
Mn 1	2.5	20.8	0.2	0.5	0	0	0
Mn 2	—	—	—	2.3	—	—	—
Mn 3	—	—	—	3.8	—	—	—
Ni 1	2.4	21.3	0.2	0.3	1.0	0	0
Ni 2	—	—	—	—	2.0	—	—
Ni 3	—	—	—	—	3.0	—	—
Cu 1	2.6	19.6	0.2	2.0	0	0.9	0
Cu 2	—	—	—	—	—	2.1	—
Al 1	2.6	20.3	0.2	2.1	0	0	0.5
Al 2	—	—	—	—	—	—	0.9
Al 3	—	—	—	—	—	—	1.5

空欄の成分は其の上記のものと同じと認め分析を行はず。

慮に入れなかつた。第1~5圖はかくして求めた結果である。

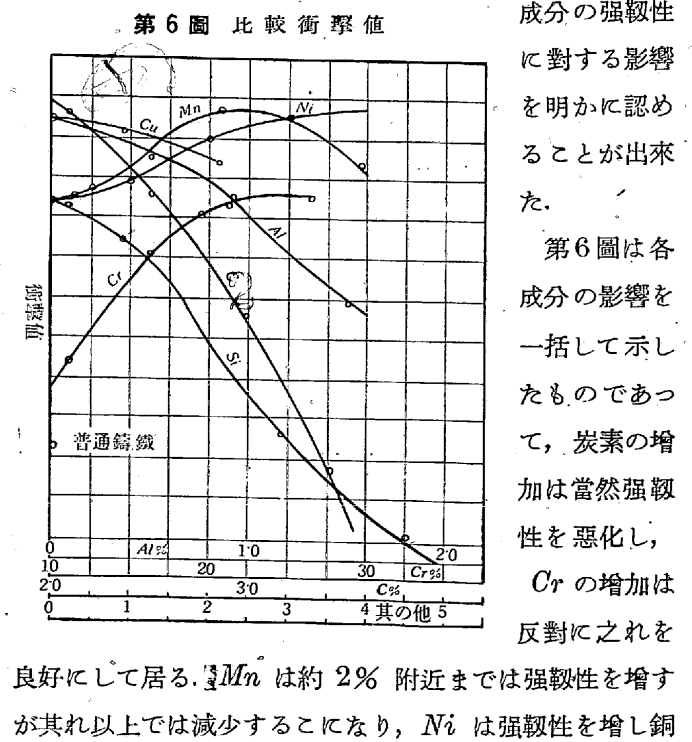
第1圖はCを約2.5%一定としCrのみを變へたもの



のであつてCrの増加は急激に酸化度を減少し20%以上では特に其の減少が著しい。第2圖はCを約20%として炭素量を變へたものであつて、炭素量の増加は酸化度を増し3.0%以上では特に之れが増加して居る。Mn, Cuは共に酸化度を増加し、Ni, Alは共に酸化度を減少する結果を明かに示して居る。特にAlの影響は大である。

**強靱性** 耐熱鑄物も金屬材料である以上相當の強靱性は是非必要である。高珪素鐵に見る如く耐熱性は充分あるも強靱性に缺けて居るものは其の用途が著しく狭められるのである。よつて茲に本材質の強靱性をシャーピー衝擊試験機によつて比較測定を行つた。

試料は第1表の成分のもので、之等を直徑20mmの丸棒に砂型で鑄造し、鑄放のまま實驗を行つた。従つて其の結果は極く大略の比較的のものではあるが、之れによつても各



成分の強靱性に対する影響を明かに認めることが出来た。

第6圖は各成分の影響を一括して示したものであつて、炭素の増加は當然強靱性を悪化し、Crの増加は反對に之れを

良好にして居る。Mnは約2%附近までは強靱性を増すが其れ以上では減少するに成り、Niは強靱性を増し

は大なる影響なく、珪素、Alは大いに之を減少して居る然しC 3.1% Si 1.8%、の普通鑄鐵に比較する時は此等の高クロム鑄鐵は一般に其の強靱性に優れて居ることが明かにされたのである。

**熱処理による硬度の變化.** 本材質は鑄放のままでは勿論機械加工を行ふことは出来ないが、適当な成分とすれば簡単な熱処理で軟化され容易に機械加工が出来る。熱処理は950°Cの温度から次の三種の冷却速度で冷却した。

爐中徐冷(S.F.C)950°Cより200°Cまで約7時間

爐中急冷(R.F.C)950°Cより200°Cまで約3時間

空中放冷(A.C.)950°Cより200°Cまで約30分以下

試料は前記のものと同様にして第2表の如きものを作

第 2 表

試料番號	C	Cr	Si	Mn	Ti
C 1	1.6	18.2	0.39	0.40	0
C 2	1.8	—	—	—	—
C 3	2.0	—	—	—	—
C 4	2.4	—	—	—	—
C 5	2.8	—	—	—	—
Cr 1	1.9	10.4	0.32	0.45	0
Cr 2	—	14.5	—	—	—
Cr 3	—	21.8	—	—	—
Cr 4	—	25.0	—	—	—
Si 1	2.0	19.0	0.60	0.44	0
Si 2	—	—	0.81	—	—
Si 3	—	—	1.02	—	—
Si 4	—	—	1.40	—	—
Mn 1	2.0	18.5	0.35	0.48	0
Mn 2	—	—	—	0.57	—
Mn 3	—	—	—	0.70	—
Mn 4	—	—	—	0.82	—
Ti 1	2.1	19.3	0.30	0.41	0.27
Ti 2	—	—	—	—	0.71
Ti 3	—	—	—	—	1.10
Ti 4	—	—	—	—	1.53

空欄の成分は其の上記のものと同様と認め分析を行はず。

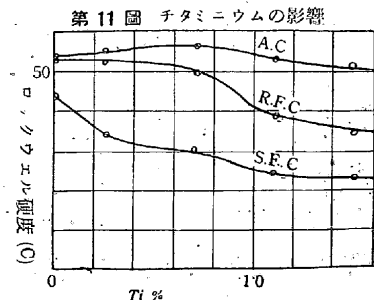
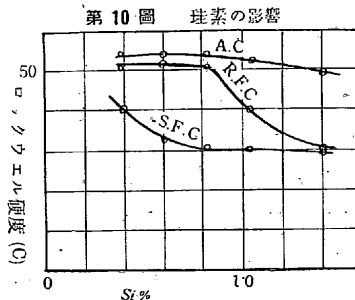
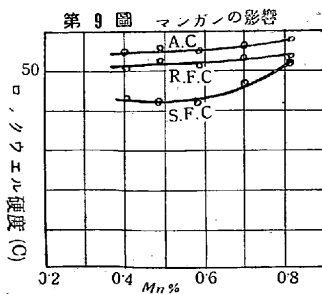
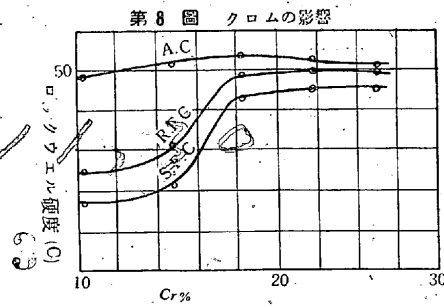
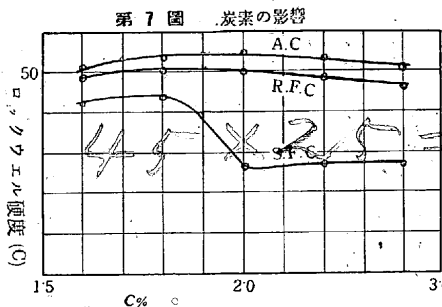
た。但し今後の實驗は耐摩鑄鐵の適當なものを得ることを目的としたのでAl並に銅の添加は行はず。又高價なNiの添加もしなかつた。たゞ珪素の代用としてTiの添加を行て見た。

硬度はロックエル硬度計によりCスケールで求めた。第7~11圖は其の結果を各成分含有量と對比して示したものである。之れによつて見るに、炭素は低い方が軟化が困難であることが認められる。Crは反對に増加すれば軟化が困難となる。Mnの増加は明かに軟化を妨害し、珪素並にTiは共に大いに軟化を助勢することが明かにされたのである。

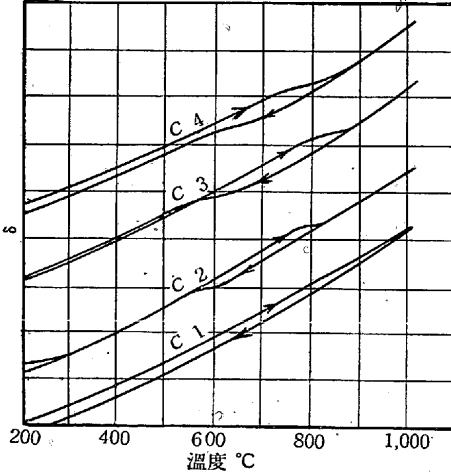
**熱間膨脹試験**

以上の如き熱処理による硬度の變化は當然共析變態の完 不完によるものと考へられるのであるよつて各試料に就て熱膨脹計により變態の状態を測定した。試料は第2表のもので徑20mm長さ80mmの丸棒を鑄放のまま使用し、加熱は1,000°Cまで約2時間、冷却は1,000°Cから200°Cまで約3時間で行た。第12~16圖は此等の膨脹收縮曲線である。此等の曲線と前記の熱處理後の硬度とを比較して見るに、冷却時700~600°Cの間で變態を完了して居るものは充分軟化して居るが、之れが200°C以上に顯れないもの又は顯れても完了して居ないものは軟化して居ないのである。

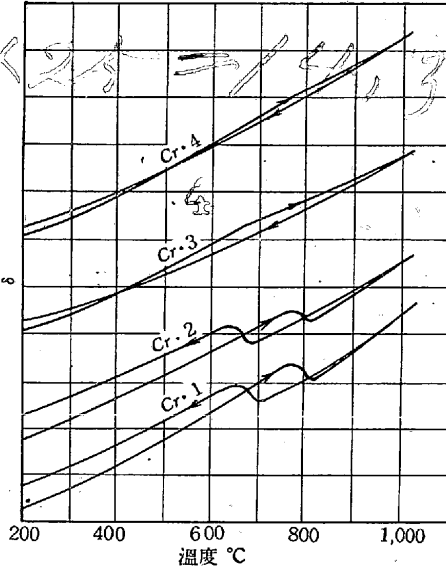
以上の如き小數の實驗結果からのみでは共析變態の位置と成分並に冷却速度との關係を明確に示すことは出来ないが大體實用範圍内の材質に就ては其の變態點の出顯温度、從て冷却後の硬度に就て大體の推定を行ひ得るのである。



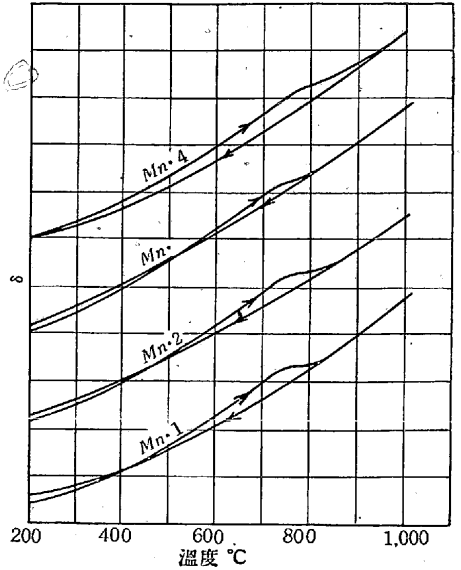
第 12 圖 炭素の影響



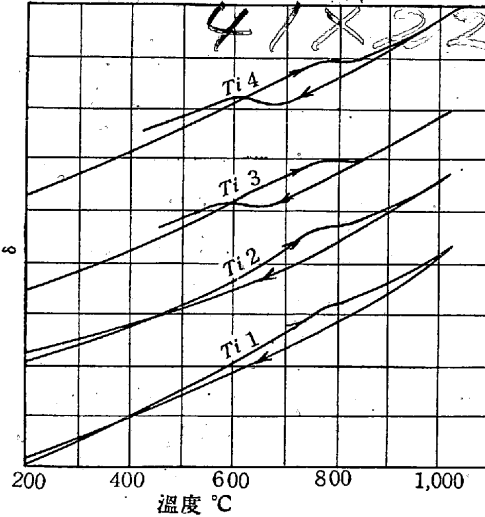
第 13 圖 クロムの影響



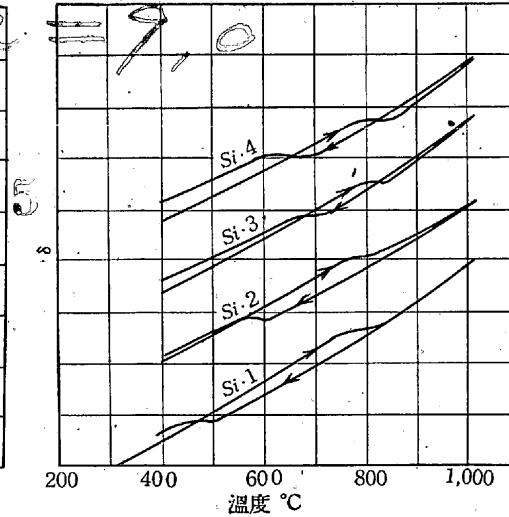
第 14 圖 マンガンの影響



第 16 圖 チタニウムの影響



第 15 圖 珪素の影響



此の實驗結果に就て見るに、大體珪素も  $Ti$  もほぼ同様の影響を示し、焼鈍後即ち軟化状態にあつては  $Si$  量又は  $Si$  量と  $Al$  量との和が 1% 以下では大なる變化はないが、硬化したものにあつては此等成分の増加は明かに抗折力を減少して居る、又  $Si$  のみのものと、之れに  $Ti$  を加へたものととの相違を見るに、 $Ti$  を加へたものは幾分軟化

**$Si$  並に  $Ti$  の抗折力に及ぼす影響**

前各實驗に見る如く本材質を軟化するには珪素又は  $Ti$  の適量を必要とするのであるが、前の耐熱材の強靱性試験の際に珪素が大いに強靱性を害することが認められて居るので、茲に珪素並に  $Ti$  が軟化硬化の熱處理により如何なる影響を示すか抗折力によって試験したのである。

試料の製作は前同様とし其の基本材としては軟化硬化の容易に行ひ得る成分として次の如きものを取り之れに珪素並に  $Ti$  を加へ第 3 表の如き成分のものを作た。

かゝる成分のものは 950~200°C 間を 7 時間で冷却したのでは軟化し難いものもあつたので約 13 時間を要して冷却した。硬化は一樣に 950°C から空冷することにより何れもよく硬化した。折抗試験は徑 30mm の鑄放丸棒に就き支點距離 200mm で行た。第 3 表は其の結果を示したものである。

第 3 表

番號	Si, Ti %	軟化後		硬化後		備 考
		kg 抗折力	ロック エル C 硬 度	kg 抗折力	ロック エル C 硬 度	
Si 0	Si 0.2	—	—	5,640	55	軟化せず 比較の爲 に行ふ
Si 1	" 0.4	5,160	28	5,370	54	
Si 2	" 0.6	5,080	28	4,170	55	
Si 3	" 0.8	5,250	27	3,280	54	
Si 4	" 1.0	5,440	28	2,830	54	
Ti 1	Si 0.2 Ti 0.2	4,750	28	5,350	55	
Ti 2	Si 0.2 Ti 0.4	4,650	28	4,830	54	
Ti 3	Si 0.2 Ti 0.6	5,200	30	3,740	55	
Ti 4	Si 0.2 Ti 0.8	4,520	27	3,320	54	
鑄鐵	C 3.0	3,580	—	—	—	
鑄鐵	Si 2.1	—	—	—	—	
鑄鐵	C 3.3	—	—	—	—	
鑄鐵	Si 1.8	2,100	—	—	—	

後の強さを減じて居るが、硬化後にあつては反對に珪素のみのものより強さを増して居る。なほ表には比較の爲高級

鑄鐵と普通鑄鐵とを同一寸法の試料に就き同一方法で試験した結果を参考の爲に示して置いた。

抗張力試験に就ては詳細には行はなかつたが上記の軟化した試料に就て  $38 \text{ kg/mm}^2 \sim 42 \text{ kg/mm}^2$  の結果が得られた。

### 適當なる成分範圍と其の實用例

**耐熱鑄物** 耐熱鑄物として鑄放のまゝ使用されるものに関しては次の如き成分範圍のものが適當と見られるのである。先づ  $Cr$  は耐酸化度より見るも亦強靱性より見るも 20% 以上を是非必要とする。炭素は低いことが望まれるが鑄造性の點より 2.0% 以上としたい。珪素は強靱性を害する點より見てなるべく低いことが希望され  $Mn$  は多少耐酸化性を害するが、強靱性を増し且鑄造を容易にする爲 1.0~2.0% が必要である。銅は別に添加する必要を認めない。Ni は何れの點より見るも良好な性質を與へるが高價な爲其の添加には經濟的の問題を考へねばならない。Al は強靱性を害するが、少量で大いに耐酸化性を増進するので其の 1% 以下の添加は有利である。而して實際の工業的製作に當ては經濟的立場より普通合金鑄物には廉價な高炭素フェロクロムを使用する關係上不純物の含量も増加するので大體の實用成分は次の如きものとなる。C 2.0~2.4%,  $Cr$  22~26%,  $Si$  0.6~0.8%,  $Mn$  1.0~2.0%,  $Al$  0.5~1.0% なるほ之れに  $Ni$  1~2% を添加すればより良好な結果が得られる。以上の成分では加工は困難であるが若し熱處理して加工を行ふ必要があれば次の耐磨鑄鐵の成分關係を参考とし  $Mn$  の量を減ぜねばならない。

**耐磨鑄鐵として適當な成分** 加工を必要とする耐磨鑄鐵の成分としては本研究から次の如き關係が必要となる。

**炭素** 鑄造可能な範圍でなるべく低いことを欲するが、2% 前後が適當である。勿論其の用途によつても異なり、大なる強靱性を要求しないものには之れを増加することが出来る。

**クロム** 強靱性を増す意味からは 20% 以上が希望されるが、軟化硬化を容量にする意味からは炭素量と密接な關係がある。本實驗結果から見るに大體クロム量は炭素量の 10 倍程度を適當とする。

**珪素** なるべく少いことを必要とするが原料其他製造上の都合から實際問題としてはあまり減少することは出来ない。硬化後の機械的性質を良好にする意味からは其の一部を  $Ti$  に代へた方がよい。

**$Mn$**  軟化を防止する性質が大であるから其の量に就

ては最も注意を要するのである。其の量は常に珪素又は  $Ti$  の量に關係して定めねばならない。又冷却速度との關係も大であるから鑄物の大きさに就ても増減が必要である。大體肉厚のものには珪素量又は之れに  $Ti$  量を加へたもの量とほぼ同量を取り、肉薄のものには之より多少減少することが必要である。

其の他の成分即ち磷、硫黄に就ては別に茲に實驗を行て居ないので其の影響は不明であるが、他の場合から考へてなるべく之れが少いことが希望されるものと見られる。

普通の工業用原料を用ひる時には大體次の如き成分範圍のものが適當であり、又實際使用上も良好な結果が得られて居る。C 1.8~2.2%,  $Cr$  17~22%,  $Si$  0.4~0.8%,  $Mn$  0.4~0.8%, 又は  $Si$  の一部を  $Ti$  とする。

次に耐磨鑄物で加工を要しないものにあつては  $Mn$  を 1.0% 附近まで増加し  $Si$  を 0.3% 以下とする。かゝるものは熱處理を行はず鑄放のまゝ使用されるのである。

次に實際の鑄造上の注意に就て重要な事項を見るに、小形のものには可鍛鑄鐵の白銑鑄物と同様な鑄造法により、やゝ大形のものには鑄鋼と同様な方法による。熔解は勿論電氣爐によるのが適當である。熔解時には滓の流動性をよくする様注意を要す。又滓の分離が困難であるので鑄型の製作にも特に注意を要し且鑄込みの際の注意が必要である、所謂押湯は必要であるが其の効果は普通鑄鐵又は鋼の場合の如く充分でないので、冷金の適當な使用によらねばならない。

最後に著者が今日までに製作し實用に供した主なるものの品名を挙げれば次の如くである。

耐熱鑄物、各種高熱爐煉瓦承金物、ボイラー給炭鎖、焙燒爐攪拌齒、熱處理用函、熔解鍋。

耐磨鑄物、ローラー、サンドポンプランナー、粉碎機齒又は板、熱間抽抜用ダイス。

**結論** 本研究は所謂机上研究のみでなく、實際種々の用途の器具を製作しつゝ其のかたはら行たものであつて、簡単な實驗ではあるが之れにより耐熱鑄物並に耐磨鑄物に對し夫々適當な成分範圍の概略を決定することが出来た。なほ高クロム鑄鐵の耐蝕性特に硝酸、有機酸又は各種鹽類の溶液等に對する耐蝕性の良好なる點も認められて居るが本研究は此等の問題には觸れなかつた。

本研究の大半は舊國產工業株式會社冶金研究所に於て行はれたものであつて、此の研究並に各種實際の試作品の製作に御盡力を賜た同社關係各位に深甚の感謝の意を表する次第である。