

# 含 Cu, Al 可鍛鑄鐵の研究

(昭和 24 年 4 月本會講演大會にて講演)

三島 徳七\*, 三橋 鐵太郎\*\*, 田中 龍男\*\*

## A STUDY OF MALLEABLE CAST IRON CONTAINING COPPER AND ALUMINIUM

*Tokushichi Mishima, Tetsutaro Mitsuhashi and Tatsuo Tanaka*

Synopsis: Graphitisation times, mechanical properties and fluidities of malleable castings containing 2.4% carbon, 0.7% silicon, 0.5 (1.0, 1.5)% copper and 0.05 (0.1, 0.3)% aluminium are studied:

- (1) The addition of slight amount of aluminium effects strongly to shorten the graphitisation time of first stage, e. g. from 16 hr 30 min. to 2 hr 15min.
- (2) All specimen casted in sand mould 5-40 mm thick show white pig fracture.
- (3) Fluidities of this molten metal are injured by addition of aluminium, but improved this injured fluidities by addition of copper.
- (4) The best mechanical properties are obtained by precipitation hardening treatment after graphitisation of first stage, e. g. tensile strength 78kg/mm<sup>2</sup> and elongation 4%.
- (5) The addition of aluminium effects decreasing the tensile strength and elongation percentage and transform the shape of graphite from sphere to star and the addition of 0.3% aluminium causes to precipitate the primary graphite.

### I. 緒言

可鍛鑄鐵の進歩發達につれ黒心可鍛鑄鐵は抗張力 40 kg/mm<sup>2</sup> で延伸率 10% 以上のものが得られる様になつた。しかし自動車工業の方面では或る程度の粘きを犠牲にしてもより強力な耐摩耗性の良好なものが要求される場合がある。又燃料の節約と云う面からは焼鈍時間の短縮ということが著しく注目されてきた。故に著者等は黒鉛化焼鈍時間を短縮するとともに高力な耐摩耗性の良好な材質を得んとして研究を實施した。その目的に沿う爲に長時間を要する第 2 段黒鉛化を行わず、基地を球状パーライトにし、或は析出硬化を行わせることにした。

Al は強力な黒鉛化促進劑であり微量の Al の含有は可鍛鑄鐵の機械的性質をも改善すると云われている<sup>1)</sup>。然しながらやゝ多量に過ぎれば流動性を著しく阻害する。他方 Cu は微細ながらも黒鉛化劑であり熔湯の流動性を改善し地金の組織を微細化しセンメンタイトの球状化を助け析出硬化の現象があり種々機械的性質を良好にする<sup>2)</sup>。故に Al と Cu を種々添加配合し各々の長短を相補わしめ、黒鉛化速く、流動性良く、強力な材料を

うる目的で各成分の黒鉛化並に機械的性質に及ぼす影響をしらべ湯流れ試験をも併せ實施した。

### II. 第 1 段黒鉛化完了時間に及ぼす影響

#### (1) 實驗方法

試験片の熔製には鞍山白銑 (3.34% C, 0.96% Si), フェロシリコン (68.75% Si), 電解鐵に銅線及び純アルミニウム地金を夫々配合しクリプトル電氣爐にて熔解し生砂型に鑄込んで引張試験片 (JES 第 4 號) と黒鉛化膨脹試験片 (徑 8mm 長さ 80mm) を作成した。

各試験片の化學成分は C 2.4%, Si 0.7% にほゞ一定にし Cu 0.5%, (1.0%, 1.5% の各系に Al は 0.05%, 0.10%, 0.30% と種々組合せて 13 種の試験片を作成した。熔解温度は 1400°C から 1430°C の範囲内に一定にして直に鑄込んだ。

肉厚試験として 5mm, 10mm, 15mm, 25mm, 40mm の肉厚を有する階段試験片を作成し前記試料と同成分のものを鑄込んでそれを破斷しその破面を検した所

\* 東京大學冶金學教室

\*\* 工業技術廳機械試験所

肉眼的には Al 0.3% 以下では白銑組織であつた。

徑 8mm 長さ 80mm の白銑丸棒を著者の試作した簡易熱膨脹計を用いて第1段黒鉛化完了時間を測定した。保持温度は 950°C とし昇温時間は約 2 時間であつた。爐内の温度が 950°C に達してから試料を出来るだけ速に装入し膨張の停止する迄の時間を第1段黒鉛化完了時間として測定した。

(2) 實驗結果

各試料の化學成分と第1段黒化完了時間を示すと第1表及び第1圖の様になる。總べての圖表の Cu, Al の成分は簡單のため配合成分を以て表はしてある。試料 No.1 の他の化學成分は Mn 0.11%, P 0.018%, S 0.048% であつて他の試料についても同様に微量であることが推定出来るのでこれ等の成分の影響は無視した。

第 1 表

試料 番號	化 學 成 分 %				第1段黒 鉛化完了 時 間
	C	Si	Cu	Al	
1	2.33	0.61	—	—	時間 分 16—30
2	2.41	0.61	0.43	—	7—20
3	2.36	0.64	0.55	0.036	3—55
4	2.40	0.63	0.43	0.091	50
5	2.37	0.72	0.59	0.266	50
6	2.48	0.66	0.99	—	4—40
7	2.47	0.57	0.94	0.035	5—0
8	2.34	0.66	0.83	0.086	2—15
9	2.33	0.75	0.80	0.263	50
10	2.31	0.72	1.40	—	4—20
11	2.34	0.71	1.41	0.034	3—20
12	2.35	0.72	1.46	0.092	1—50
13	2.36	0.71	1.45	0.286	40

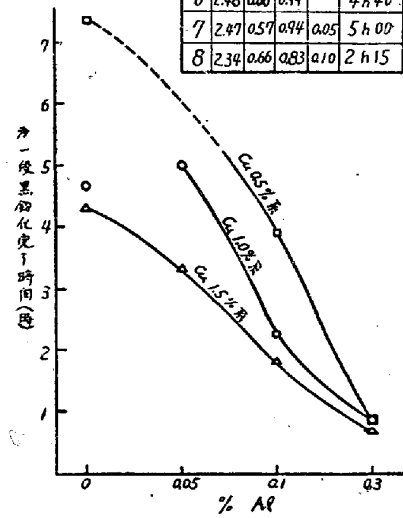
Cu の成分を一定にすれば Al 含有量の増加につれ黒鉛化完了時間は著しく短縮し Al 0.3% も含有すれば Cu の影響を打消すほど強力である。又 Al の成分を一定にすれば Cu の含有量増加と共に熱處理時間は同様短縮する。Cu, Al 共に含有しない No.1 は 16 時間以上を要するに反し Cu 1.0%, Al 0.10% を含有する No.8 は 2 時間程度にて第1段黒鉛化は完了する。その試料の爐冷したもの、顯微鏡組織はソルバイト化したパーライト地に焼鈍黒鉛が散在しているが Al が 0.3% になれば Cu の含有の多少に拘らずブルスアイ組織になり易い。Al 0.3% には微細な初晶黒鉛が現はれている。

III. 機械的性質に及ぼす影響

(1) 實驗方法

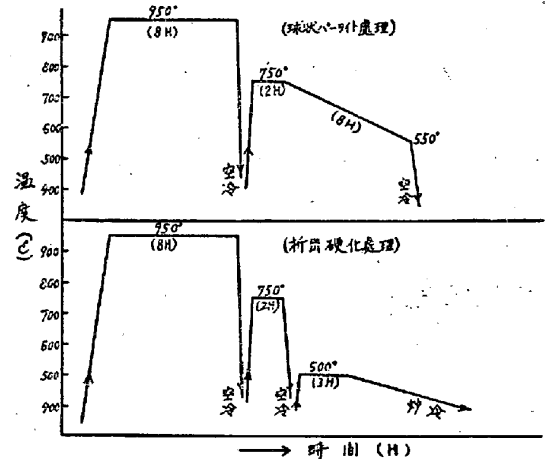
第1段黒鉛化測定に使用したものと同一成分の抗張試

No	C	Si	Cu	Al	黒鉛化時間
1	2.33	0.61	—	—	16h 30
6	2.48	0.66	0.99	—	4h 40
7	2.47	0.57	0.94	0.035	5h 00
8	2.34	0.66	0.83	0.10	2h 15



第1圖 第1段黒鉛化完了時間に及ぼす Cu, Al の影響

驗片を用い肉厚の變化を考慮し 950°C に一定に適當な時間保持し第1段の黒鉛化を充分完了させて其の温度より空冷した。第2次の熱處理としては第2圖に示す方法を採用した。即ち次の A.B. である。



第2圖 熱處理方式 (No.8 を例とす)

A. 球狀パーライト處理

總べての試料に對し 750°C に 2 時間保持し 8 時間にて 550°C になる様に徐冷し其の温度より空冷する。

B. 析出硬化處理

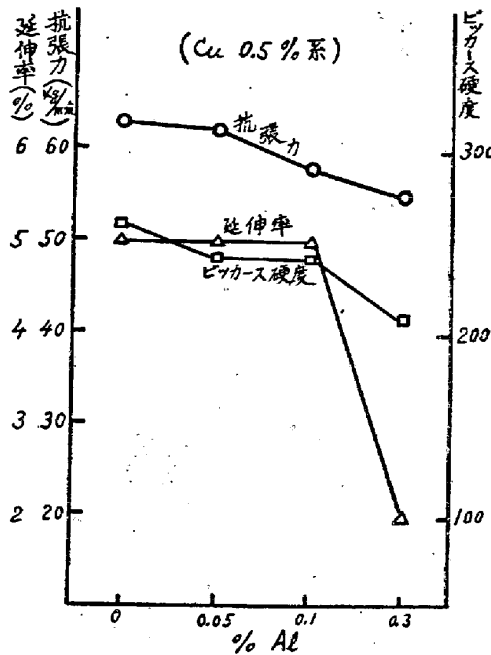
總べての試料に對し 750°C は 2 時間保持し其の温度より空冷する。更に 500°C に再加熱して 3 時間保持し爐中冷却する。

(2) 實驗結果

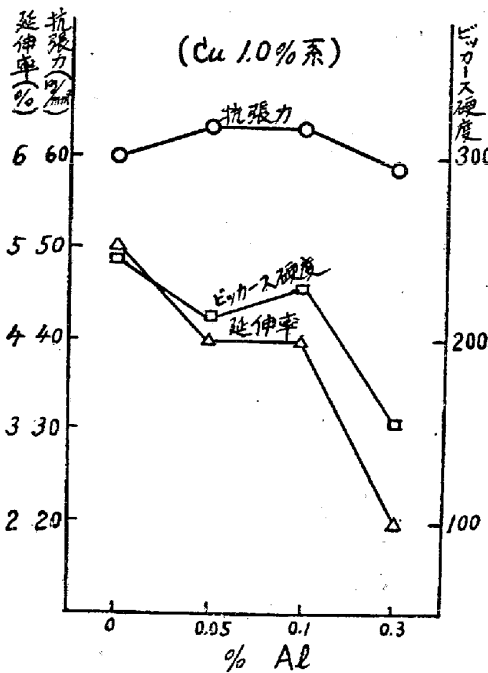
A. 基地を球狀パーライトとしたもの

基地を球狀パーライトとしたもの、機械的性質を示す

と第 3~5 圖のようになる。

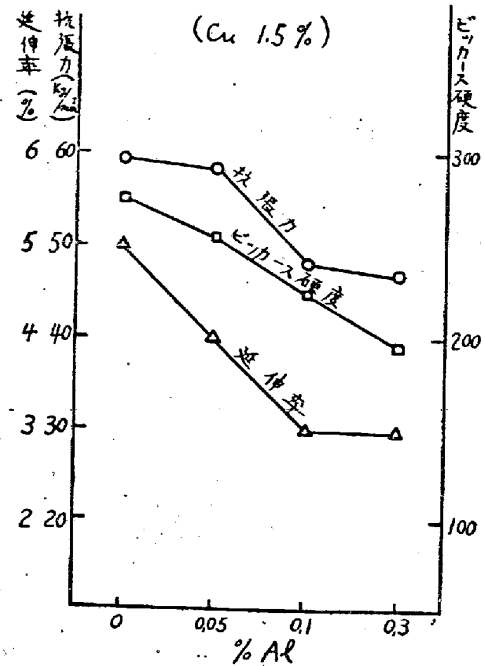


第 3 圖 Cu 0.5% 系の機械的性質に及ぼす Al の影響



第 4 圖 Cu 1.0% 系の機械的性質に及ぼす Al の影響

以上の結果を檢鏡とともに考察すれば各 Cu 系について Al が 0.3% も含有されると Cu の含有量に拘らずその影響は著しく基地のパーライトはフェライト化し易く残量のパーライトのみがやゝ球状化を示している。故に抗張力、硬度共に低下している。且つ檢鏡に依つて凝固時の微細な黒鉛の析出が認められ延伸率も悪い。



第 5 圖 Cu 1.5% 系の機械的性質に及ぼす Al の影響

Al が 0.1% 程度なれば Cu 1.5% 系以外はあまり影響なく殊に Cu 1.0% 系のもものでは抗張力 64kg/mm<sup>2</sup> 延伸率 4% であつて黒鉛化時間の短縮能力と共に秀れた性質を有している。Cu, Al 共に含有しない試料 No.1 は焼鈍時間 20 時間でも遊離セメントの大部分は残留し、鑄込のままの機械的性質が抗張力 43.3kg/mm<sup>2</sup>, Hv 415 であるに對し焼鈍後は抗張力 47.8kg/mm<sup>2</sup>, 延伸率 1.0%, Hv 296 であつて殆ど變化はない。他の試料では焼鈍時間 20 時間以下でも遊離セメントの残存なく完全に黒鉛化し第 2 次の熱處理にて基地は球狀パーライトとなつている。組織は一般に微細である。Al の含有量の多い程黒鉛の形狀は大きくなり丸形より星狀になり易い。

B. 析出硬化處理を施せるもの

第 2 表の如き成分のものを更に熔解し同様に抗張試験片を作成し第 2 次の熱處理として析出硬化處理を施し、比較のために球狀化處理をも併せ實施した。それらの處理の各段階に於ける機械的性質と顯微鏡組織を第 3 表に示した。

第 2 表

試料	化 學 成 分			
	C	Si	Cu	Al
A	2.37	0.61	1.10	0.10
B	2.31	0.68	0.98	0.12

第 3 表

950°×8hr			(第二次) 析出硬化處理						(第二次)			
空冷			(A) 750°×2hr 空冷			(A)後 500°×3hr 爐冷			球狀パーライト處理			
	$\sigma$	$\delta$	H	$\sigma$	$\delta$	H	$\sigma$	$\delta$	H	$\sigma$	$\delta$	H
A	68.5	1.0	303	69.2	4.0	259	78.3	4.0	278	66.3	7.2	232
B	65.3	0.6	298	66.3	2.0	261	77.1	3.2	286	64.8	6.0	238
顯組織	焼鈍黒鉛 ソルバイト化したパー ライト、オーステナイト粒 界二次セメント			焼鈍黒鉛 や、球状化したパーライト			焼鈍黒鉛 や、球状化したパーライト			焼鈍黒鉛 完全に球状化したパーライ ト		

(註)  $\sigma$  は抗張力  $\text{kg/mm}^2$ ,  $\delta$  は延伸率%, H はビッカース硬度を示す。

Cu は 700° で約 1.0%  $\alpha$  鐵中に固溶し、溫度降下と共に溶解度が減少して常溫での溶解度は僅に 0.2% 程度となる。従つて此の溶解度變化に基く析出硬化性が存在する。故に 750° で空冷したまゝでは Cu は過飽和に固溶されていて抗張力も第 1 段黒鉛化處理を施したまゝのものに比しあまり變化はないが 500° に 3 時間焼戻せば抗張力は著しく上昇し硬度は高くなる。延伸率は球狀パーライト處理したものに較べれば當然低くなつてゐる。

ない No.1 に較べて著しく流動性は良好である。然し

IV. 湯流れ試験

(1) 實驗方法

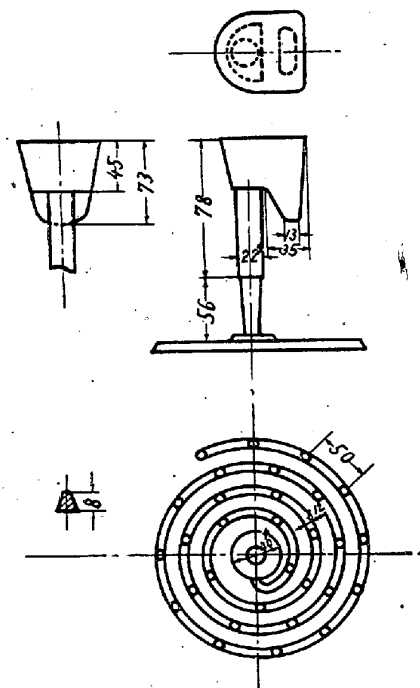
シップの渦巻型水平湯道流動性試験用型<sup>3)</sup>を改良した第 6 圖に示す様な鑄型を用いて第 4 表に示す各種成分の熔湯の流動性を測定した。熔解爐にはクリプトル電氣爐を用い一回の熔解量を 4.5kg とし生砂型に 2 個づつ鑄込んだ。熔解溫度は 1430° に一定にし最初の鑄型に出来るだけ速かに湯溜の深部を目掛けて注入し湯溜にあふれる様になつて中止した。鑄込終了後 45 秒を経て残りの熔湯を第 2 の鑄型に同様の手段にて鑄込んだ。流動性は湯道を流れた熔湯の長さを以て比較した。

第 4 表

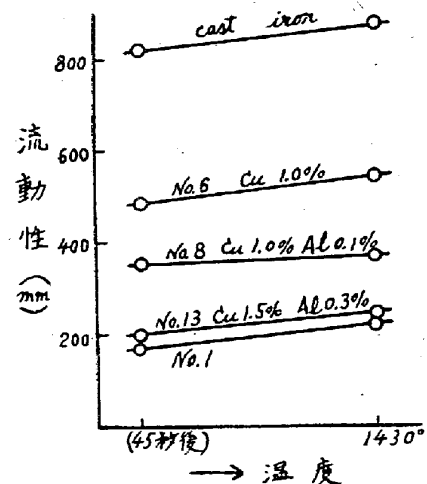
試料	化學成分 %			
	C	Si	Cu	Al
No. 1	2.4	0.7		
No. 6	2.4	0.7	1.0	
No. 8	2.4	0.7	1.0	0.1
No. 13	2.4	0.7	1.5	0.3
鑄鐵	3.4	2.0		

(2) 實驗結果

各熔湯の湯流れ試験結果を第 7 圖に示す。試料 No.6 の様に Cu が 1.0% 含まれると Cu, Al 共に含有され



第 6 圖 渦巻式流動性試験用型



第 7 圖 各成分の流動性に及ぼす影響

Al が 0.3% も含有されると Cu が 1.5% あつても No.13 に示す様に No.1 と殆ど變化はない。Al の含有量が増すと Al の粘い酸化皮膜が生成して流動性を著しく害なるものであろう。然し No.8 の様に Al 0.1% 程度なれば Cu 1.0% 含有していれば流動性は左程害なわれることが無く No.1 よりもずっと良好である。参考として普通鑄鐵の流動性を示した。

### V. 結 言

普通可鍛鑄鐵成分に殆ど等しいような含銅白銑 (C 2.4%, Si 0.7%, Cu 0.5, 1.0, 1.5%) に 0.05~0.3% の Al を添加し、黒鉛化時間、機械的性質、流動性に及ぼす影響をしらべた。

- (1) 微量の Al の添加は第 1 段黒鉛化完了時間を著しく、例へば 16 時間 30 分を 2 時間 15 分に短縮する。Al 0.3% の添加は Cu の影響を打消す程強力である。
- (2) 厚み 5~40mm の生砂型鑄物は Al 0.1% 以下の場合には白銑破面を示した。
- (3) Al 添加は流動性を低下させるが Al の含有が適

量であれば Cu 添加により著しく改善される。

(4) Al の添加は黒鉛の形状を球状より星状に變化させるが Al 0.3% 添加により初晶黒鉛が析出するので、急に機械的性質を悪化させる。

(5) 第 2 段黒鉛化を止め、基地を球状パーライトにすれば抗張力 60kg/mm<sup>2</sup>, 伸 4% 程度の値が得られる。

(6) Cu 1.0%, Al 0.1% を含有する材料に第 1 段黒鉛化を行はせ次に析出硬化を行はせると、抗張力 78 kg/mm<sup>2</sup>, 伸 4% 程度の高力可鍛鑄鐵が得られる。

最後に本實驗に熱心に協力された上野學、村松晃並に白川桂司君に厚く感謝する。尙本研究費の一部は文部省科學研究費によるものであることを附記する。

(昭和 25 年 6 月寄稿)

### 文 献

- 1) 小山: 日立評論 27 (1944) 130
- 2) C.H. Lorig, C.S. Smith: Trans. of Am. Fdymen's Ass'n. 43 (1935) 211
- 3) 澤村, 森田: 學振第 24 小委報告 23 (1942) 71

## 7 月 號 論 說 豫 告

轉爐と高周波電氣爐の作用による 純鐵の製造	嘉村平八
鹽基性電弧爐操業が非金屬介 在物に及ぼす影響に就て	石塚寛
無ニッケル鋼々塊の偏析	鹽澤正一
特殊鑄鋼の研究 (III)	三ヶ島秀雄
鑄鐵中の酸素に関する一考察	{木下禾大雄 中島益雄
孔型の形状と壓延材表面疵 との關係 (II)	吉田亮英
鐵鋼のマクロ蝕刻法	吉岡正三