

## 可鍛鑄鐵用熔銑に於ける Mg の影響について

(昭和 25 年 9 月本會講演大會にて講演)

岡本正三\*・鳥取友治郎\*

MALLEABLIZING OF CAST IRON TREATED  
WITH MAGNESIUM*Masazō Okamoto, Dr. Ing., and Tomojirō Tottori*

Synopsis: The graphitizing phenomena were studied by annealing the magnesium-treated (0.1%~1.0%Mg) and sand-cast iron having the composition of C 2.56%, Si 1.13%, Mn 0.421%, P 0.118%, S 0.149%, Cr 0.01%, Cu 0.312%, and the following results obtained.

(1) The sand cast iron castings treated with small amount of magnesium (0.1%~0.3%) in the form of Mg-alloys have mottled structures including flaky graphite, although they are white if not treated with Mg-alloys. The above phenomenon is caused by the strong desulphurization effect of magnesium as well as by alloying of the graphitization-promoting elements in the Mg-alloys.

(2) If the added amount of magnesium exceeds 0.6%, the structure becomes white or mottled, the graphite in the iron being spherulitic and not flaky. This phenomenon is caused by strong desulphurization of the molten iron and by alloying of the magnesium in its amount sufficient to spheroidize graphite.

(3) The magnesium alloyed has not only a tendency to chill the molten iron, but also retards the graphitization in the annealing slightly.

(4) Temper carbon in the iron treated with magnesium is rounder in form than that in the iron not treated with magnesium.

(5) Quick malleablizing will surely be achieved by annealing the magnesium-treated iron containing adequate amount of carbon and silicon, and the iron casting malleablized has, for example, tensile strength 50kg/mm<sup>2</sup> and elongation 8%. By this method even the high phosphor iron (~0.1% P) can be used for making ductile iron, and the castings of larger section size than the maximum size applied up to the present in malleable iron products can be manufactured.

## I. 緒 言

従來の可鍛鑄鐵の製造作業は肉厚を約 25mm 以下に制限せねばならぬこと並びに焼鈍に長時間を要すること等が大きな難點となつてゐる。一方、所謂球狀黒鉛鑄鐵の製造に要求される原料銑の化學組成には甚だしい制限がある。殊に隣の濃度が 0.05% 以上のものにあつては鑄物の焼鈍後に於てその材質に粘靱性を期待することは困難である。こゝに球狀黒鉛鑄鐵を工業化する上に大きな隘路がある。然るに普通の可鍛鑄鐵に於ては C 及び Si の濃度の低いために隣の濃度が 0.1% 附近のもので焼鈍後 12~13% 程度の延性を得ることは容易である。

以上より球狀黒鉛鑄鐵に於ける原料銑の問題並びに白銑の急速可鍛化の問題を解決せんとする試みとして、可鍛鑄鐵用の熔銑に種々の Mg 処理を行つて後黒鉛化焼鈍を行う作業が工業的に利用出来るや否やを實驗的に検討してこの方法の實用化に對する基礎的資料を得たので以下その概要を述べることにする。

## II. 試料及び實驗方法

原料銑は反射爐で熔製した C 2.65%, Si 1.13% Mn 0.421%, P 0.118%, S 0.149%, Cr 0.01%, Cu 0.312% の化學組成のものを用い、これに添加する Mg

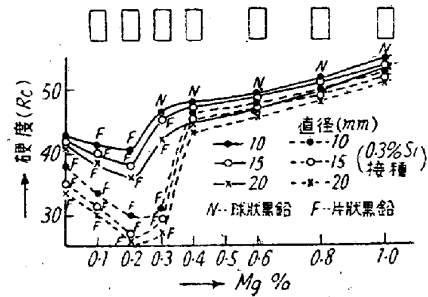
\* 東京工業大學

合金としては次の如きものを用いた。

No.1 Mg12%, Ni30%, Cu35%, Si8%, Fe7%, Mn5%  
Al3%

No.2. Mg15%, Ni25%, Cu30%, Si10%, Fe10%,  
Al5%

試料は第1表に示す如く、上述の原料銑を再熔解し、上記の Mg 合金中主として No.1 の合金を Mg として 0.1~1.0% だけ熔湯の表面に添加し攪拌後これを直径 10mm, 15mm, 20mm の生砂型に鑄込んだ。かくして得た試料について Mg による脱硫並びに白銑化程度を Sulphur Print, 顕微鏡試験, 硬度試験によつて確か次に示差熱膨脹計により Mg の黒鉛化に及ぼす影響を考察し、最後に Mg 合金 No.2 を用いて処理した熔銑を砂型鑄造した後、可鍛化焼鈍をした試料について抗張試験を行い材質を判定した。



第1圖 鑄造状態における Mg 処理量と硬度との関係。

上部のプリントは Sulphur Print を示す

じ、従つて硬度も低下する。しかるに更に Mg の添加量が増加するときは白銑化し易くなり同時に黒鉛が析出してもこれが球状を呈して硬度も上昇する。Mg 0.8% を用いて処理した径 35mm の砂型鑄物では中央部を除

第1表 試料の化学組成

試料番号	C (%)	Si (%)	Cu (%)	Ni (%)	Al (%)	Mn (%)	Added Mg (%)
1	2.6	1.13	0.312	—	—	0.421	—
2	2.58	1.19	0.58	0.24	0.025	0.44	0.1
3	2.55	1.25	0.86	0.46	0.05	0.48	0.2
4	2.53	1.30	1.18	0.73	0.075	0.51	0.3
5	2.50	1.35	1.4	0.95	0.10	0.55	0.4
6	2.47	1.46	2.0	1.4	0.15	0.6	0.6
7	2.43	1.57	2.6	1.9	0.2	0.67	0.8
8	2.40	1.68	3.1	2.45	0.24	0.75	1.0

### III. 実験結果及び考察

#### (1) マグネシウムの添加による鑄造組織の變化

第1圖の上部に示す Sulphur Print より明かなように Mg 処理しないものは印畫紙上の着色は黒褐色で Mg の添加量が 0.1%, 0.2% と増加するに従いその色が薄くなり、更に Mg が 0.4%, 0.6%, 0.8% 1.0% と増加するにつれて赤褐色が強くなつて来る。これは Mg 処理を行うと最初の少量の添加では脱硫が起るために Sulphur Print の際に試料表面より H<sub>2</sub>S の發生が減り従つて褪色するのであり、次いで更に多くの Mg を添加すれば Mg が熔銑中に合金するために Mg の炭化物、又はこれに類似のものが鑄鐵中に存在するようになる結果、酸によつて炭化水素を發生してこれが印畫紙上に作用し赤褐色のプリントを生ずるのである。

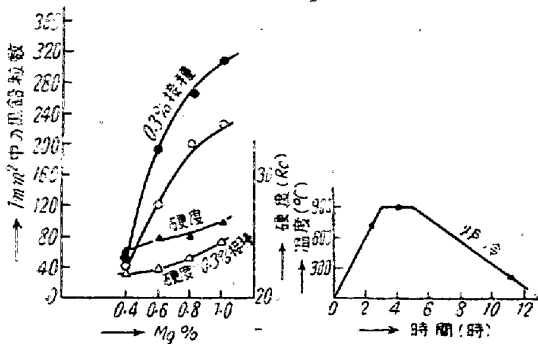
以上のことを考慮に入れて硬度變化並びに顕微鏡組織を観察するに Mg を添加せぬ砂型鑄物に於ては白銑となるものが Mg 0.1%, 0.2% 或は 0.3% を添加したものでは脱硫、脱酸及び Mg 合金に伴つて合金化する黒鉛化を促進する元素のために片状黒鉛を含む斑銑を生

く大部分は白銑になつたが中央部は斑銑となつていた。但しこの場合の斑銑は球状黒鉛を含むもので片状黒鉛は殆ど認められなかつた。

第1表に示す如く、Mg の添加が増加すれば Mg 合金より合金化される Ni, Si, Al 等もかなり増加している。それにも拘らず白銑化し易くなるのは Mg が相當著しい白銑化作用を及ぼすものであることが判る。次に Mg の処理を行つた後の熔銑に接種(Si 0.3%)を行つたものでは之を行わないものに比べて概して黒鉛が多くなる。殊に Mg 0.1%, 0.2% 或は 0.3% の添加後接種したものでは片状又は共晶状黒鉛が多く現われる。

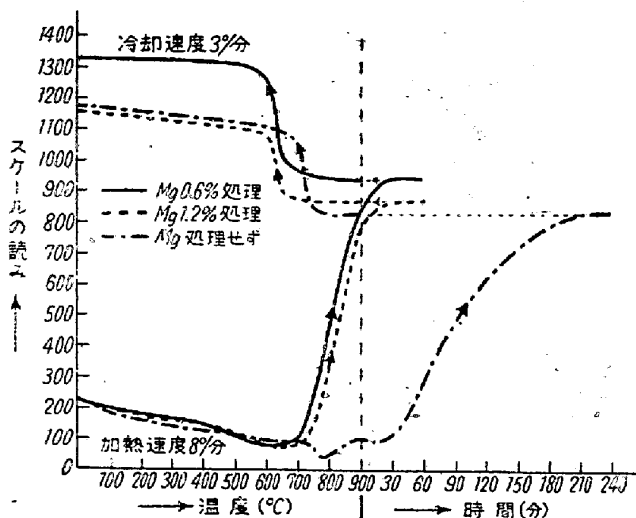
(2) マグネシウム処理せる白銑の黒鉛化焼鈍について Mg 処理量を 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0% とした直径 20mm の砂型鑄物を 900°C 2時間保持後爐冷したものであるについて顕微鏡組織と硬度變化とを調べた。その結果は第2圖に示す如くで、熔銑に添加する Mg の量が多くなるにつれて黒鉛粒數が多くなり硬度も高くなつて来る。又その組織は添加 Mg が多いものほどフェライトが多くなり従つて黒鉛化がよく進んでをり、黒鉛粒も小さい。しかし、この Mg 処理量が多い程黒鉛化が速か

に行われているのは次に述る如く Mg 自體が黒鉛化を促進する効果をもつものではなくて Mg 合金より合金化する Ni, Si, Al 等の黒鉛化促進作用に歸せらるべきものである。



第2圖 左: 焼鈍後における Mg 処理量と 1mm<sup>2</sup>中の黒鉛粒数との關係  
右: 左圖に對應する焼戻サイクル

(3) 焼鈍時における Mg の黒鉛化に及ぼす作用について



第3圖 示差熱膨脹曲線

次に示差熱膨脹計によつて白銑を焼鈍する際の Mg 自體の黒鉛化の難易に及ぼす影響をしらべた。即ち Mg 処理していない白銑と、他の合金元素は同じで Mg 処理量のみが異なる白銑即ち Mg 0.6% 及び Mg 1.2% を添加せるもの (他の合金元素は C 0.24%, Si 1.64%, Cu 2.88%, Ni 2.23%, Mn 0.76%, Al 0.225%) との 3 種について示差熱膨脹測定を行つた。これらの結果は第3圖に示す如く、Mg 処理していないものは 900°C に達した後徐々に黒鉛化による膨脹を始め、約 3.5 時間後に膨脹は停止し、冷却するとき約 770°C で Ar<sub>1</sub> に伴ふ黒鉛化膨脹をみる。これに對して Mg 0.6% 或は Mg

1.2% を添加せるものは著しく黒鉛化が早い。即ち Mg 0.6% を添加せるものについてみるに加熱中約 680°C で黒鉛化による膨脹が始まり 900°C に達した後約 30 分でその膨脹は停止しこれを冷却するとき約 660°C で Ar<sub>1</sub> にともなる黒鉛化膨脹を示している。又 Mg 1.2% 添加したものは大體 Mg 0.6% 添加したものと同一傾向をもつてゐるが、加熱中の黒鉛化による膨脹は若干遅く、更に冷却中の Ar<sub>1</sub> に伴う膨脹は Mg 0.6% 処理したものより少く何れも黒鉛化が少ないことが判る。Mg 処理しない白銑は硫黄含量が Mg 処理をしたものに比べて高いから、双方の白銑の焼鈍による黒鉛化の程度を比較して Mg の黒鉛化に及ぼす影響を論ずることは不十分であるが、Mg を合金せしめた後の二つの鑄鐵についての實驗結果によつて Mg の合金化が明らかに黒鉛化を阻止する作用をもつことが看取されるのである。

顯微鏡組織は以上の觀察の正しいことを立證した。即ち冷却後の組織をみるに Mg 0.6% 処理したものはフェライトが多く、黒鉛粒の大きさは 2.5μ 以下で小さい。これに對して Mg 1.2% 処理したものはパーライトが多く硬度も Rc で約 2 高く且黒鉛の大きさは最大 3.2μ であつた。Mg 処理しない単味の白銑は 50~30μ の大きい黒鉛をもつていた。

以上により Mg は幾分黒鉛化を阻害することが明らかとなつたが Mg 処理していない白銑に比べて Mg 処理したものは脱硫、脱酸、及び Mg 合金より添加される Ni, Si, Al 等合金化のために黒鉛化が早く且黒鉛粒が小さくなるのである。尙 Mg 処理したものと Temper Carbon は処理しないものと Temper Carbon よりも幾分球に近いことが注目される。

(4) Mg 処理せる可鍛鑄鐵の抗張性質

以上述べたところより普通の可鍛鑄物用の熔銑に Mg 処理する量が 0.4% Mg 以下の場合には片狀黒鉛を出現し易くなり、又約 0.8% Mg 以上では Mg の添加が必要以上に多くなる外 Mg 合金から合金化する特殊元素の量も多くなつて好しくない。従つて本實驗の条件下では Mg 処理量 0.6% が最適であることを認めた。

Mg 合金 No.2 を用ひて Mg 0.6% の処理を行つた熔銑を直径 25mm の乾燥砂型に鑄込み、鑄造後約 10 分で約 650°C になる様な徐冷を行つたものには片狀黒鉛は含まれず球狀黒鉛を含むレデブライト組織が認められた。適切な Mg 処理をしたものでは 25mm 以上の大きい肉厚鑄物でも片狀黒鉛は出現しないのであるから、この方法の適用によつて可鍛鑄物部品の對象に從來の 25mm 以下と云う制限が撤廢されることとなつたわけで

ある。而して Mg 0.6% 処理の鑄鐵を 900°C-3 時間、700°C-8 時間の焼鈍處理を経たものについて抗張試験を行つた結果は大體抗張力 50kg/mm<sup>2</sup>、延び 8% を示した。これによつて明らかなる如く、普通の可鍛鑄物にみる如き C, Si の濃度に於ては含磷量が 0.1% 程度あつても普通の可鍛鑄鐵に勝る抗張力とそれに少しく劣る延びとをもつ鑄鐵を急速焼鈍によつて得ることが出来るのである。

#### IV. 總 括

普通の可鍛鑄鐵用熔銑に Mg 處理をする試みの實用性を實驗的に検討して次の結果を得た。

(1) 所謂球狀黒鉛鑄鐵に於ける化學組成上の嚴しい制限を打開し、從來の可鍛鑄鐵製造に於ける肉厚の制限や長時間の焼鈍を必要とすることを避ける目的から Mg 處理量を 0.1% から 1.0% に増加して行くと、最初は Mg の脱酸及び脱硫の作用と黒鉛化を促進する元素の合金化とによつて片狀黒鉛を含む斑銑になり易いが Mg 處理量が 0.6% 以上になると白銑化の傾向が強くなり現はれ、又黒鉛が分離してもこれが球狀となることを確めた。以上のことより今日までつくることの出来なかつた肉厚の砂型鑄物や普通の可鍛鑄物用の熔銑よりも Si, Al 等の高いものについても片狀黒鉛を含む斑銑になることなしに、鑄造することが出来、又熔銑も脱硫のために良質となるので可鍛鑄鐵の利用範圍が擴大され同時に機械的性質が改良されることが明かとなつた。

(2) Mg は熔銑を白銑化する傾向が強くなり、且後の焼鈍

時に於ける黒鉛化を幾分阻害することを認めた。しかし實際の作業では Mg 合金より入る Si, Ni, Al 等の黒鉛化を促進する元素の影響と Mg による脱硫効果とよりして Mg 處理してないものに比べて、黒鉛化が早くなるので焼鈍時間の短縮が可能である。

(3) 他の元素が同じ濃度で含まれる白銑について Mg を含むものは Mg を含まないものに較べて Temper Carbon の形が幾分球に近づくことを確めた。

(4) 鑄造試片の焼鈍後の抗張性質は抗張力 50kg/mm<sup>2</sup> 延び 8% であつた。

所謂 Ductile Iron が原料銑として磷含量の極めて低いものであることを必要とするのは實用上の大きな難點となつてゐるが、可鍛鑄鐵用熔銑を適當に Mg 處理して白銑を得て後之を黒鉛化することは、磷含量がこの研究に於ける如く 0.1% を越す場合でも比較的延びの大きい(但し Mg 處理しない可鍛鑄鐵よりは小さい)且抗張力が普通の可鍛鑄鐵よりもかなり高い鑄物を得るのであつて、而も從來の可鍛鑄物の制限肉厚 25mm を 40mm 或はそれ以上に擴げることが出来る。而して肉厚鑄物に於ては中心に近い處は破面が Mottle に見えるものとなるが、この Mottle は黒鉛の球狀に現はれたものであつて機械的性質を害するものではない。

終りに、實驗について御便宜を頂いた名古屋櫻井製鋼所に對して厚くお禮を申上ります。又、本研究には昭和 25 年度文部省科學試驗研究費の御援助を得たもので、當局の御好意を深謝致します。

(昭和 25 年 12 月寄稿)

(44 頁よりつづく)

#### 鋼材部會第 3 回薄板分科會

日時：昭和 26 年 9 月 26~27 日。場所：富士製鐵釜石製鐵所。出席者：主査委員藤本一郎君外委員同代理、隨員及幹事等 22 名。提出資料：(1) 歐米の歴延工場現況報告(藤本主査)。(2) ロールカーブとロール磨耗について(3) 現行のロール註文仕様書規則(4) 製品 1, 2, 3 級品の定義(5) 操業成績表(5, 6, 7 月分)。資料提出工場：資料(2)。(3)。(4)。(5)一川崎製鐵(韋合)。大同鋼板(尼崎)。富士製鐵(釜石)。同(室蘭)。八幡製鐵(八幡)淀川製鋼。資料(3)。(4)。(5)一日本鋼管(鶴見)。東都製鋼。議事概要：(1) 藤本主査より、(a) Hulbenwerke Siegenland。(b) Oberhausen G.H.H。(c) New port Kenn 各工場の視察談があつた。(2) ロールカーブとロール磨耗について各社より提出資料の説明が行われた。(3) 現行ロール註文仕様書規則は主査の下で取まとめることとした。(4) 製品 1, 2, 3 級品の定義及び操業成績については各社よりの提出資料について夫々説明があつた。