

もかわらず凝固区間域の中が下部で減少することが保持時間とともに顕著になることが、マクロ写真にはつきり示された。一方分析結果によつても凝固区間域として存在した部分では著しい重力偏析傾向が示されるとともに、完全液相であつた部分への拡散も認められている。これは重力偏析が生じない初期の平衡状態のときに保たれていた凝固区間域と液相との温度と濃度の平衡が、下部への鋼の濃化とともに凝固点が降下し、周囲を再溶解して凝固区間域と液相とのあらたな平衡境界が生じたものと考えられる。したがつて濃縮液の流動によつて dendrite 結晶の再溶解現象があり得ることを示したものと見ることが出来る。この現象からも鋼塊におけるゴーストの生成にともなう既存の dendrite 結晶の一部が再溶解され得るものであることが推定できるものである。

4. 結 言

鋼塊に存在するゴーストの生成機構を明らかにするために、Oberhoffer 試薬にてゴーストを含む鋼塊の一部を立体的に観察するとともに、Al-Cu 合金の凝固区間内重力偏析現象の実験結果と合せて、次のことが理解された。

- 1) スtringゴーストの形成は凝固区間内の dendrite 結晶のある程度に発達した段階の中で行なわれること。
- 2) dendrite 網目間濃縮液相の重力による上昇流動によつて、dendrite 結晶を再溶解して上昇し、その結果紐状に滑らかな界面を有する string となつたと見られる事実が認められたこと。
- 3) 濃縮液相が dendrite の網目の抵抗の少ない方向に上昇するため、鋼塊の内側方向に傾くものであると考えられること。

文 献

- 1) 河合：鉄と鋼，42 (1956)，p.14.
- 2) 高橋，荻原：日本金属学会講演，(1964) 10，p.109.

(127) 鋼塊偏析におよぼす溶鋼の加圧の影響

日本製鋼所，室蘭製作所

○鹿野 昭一・理博中川 義隆

The Effect of High Pressure on the Molten Steel Concerning Segregation of the Steel Ingot.

Shoichi SHIKANO and Dr. Yoshitaka NAKAGAWA.

1. 緒 言

鑄型内の溶鋼に圧力を加えながら凝固させる方法の実際的な企ては案外古い歴史を持つている。その最初のもののは WHITWORTH 法 (1889年)¹⁾であり、次いで 1902年には HARMET 法²⁾が発表されている。いずれもかなり大規模な鋼塊に実施されたのであるが、最近ソ連において小型の複雑な形状を持つた金型鑄物の鑄造に対して行なわれている³⁾。これら、従来の圧力凝固法は湯引や収縮管および気泡の発生を防止するのが主な目的であ

る。鋼塊においては収縮管や気泡の防止は押湯の節約と欠陥の防止としては勿論必要なことに属するが、凝固に対する圧力の影響はそれ以外に著者らの理論的考察によれば、鋼塊の偏析防止に効果があることが推論された。よつて新たな観点から長い間中断されていた大型鋼塊の加圧凝固法を再検討した結果、偏析のない均質鋼塊の製造が可能であることを確認することができた。

2. 加圧凝固法による鋼塊の偏析防止の理論的根拠⁵⁾⁻¹⁶⁾

2.1 溶鋼の性質に対する圧力の影響

溶鋼に圧力を加えることによつて次の諸現象が推論される。

- i) 比容積の減少
- ii) 凝固点の上昇

溶鋼の比容積を V_1 ，凝固後の比容積を V_s ，相変化の際の吸収する潜熱を L とすると、

Clapeyron Clausius の式から

$$\frac{dT}{dp} = \frac{T(V_s - V_1)}{L}$$

$$T > 0, \text{ 鋼の場合は } V_s - V_1 < 0, L < 0,$$

結局 $dT/dp > 0$

すなわち凝固点 (T) は圧力 (P) の上昇に伴い上昇する。

今 $T = 1805^\circ\text{K}$ (1 気圧において)

$$V_s = 7.703 \text{ cc/mol}^{15)}$$

$$V_1 = 7.9603 \text{ cc/mol}^{15)}$$

$$L = 3,700 \text{ cal/mol}^{16)}$$
 とすると

P (気圧)	0	100	500	1000	2000
T (°K)	1805	1805.8	1808.6	1812.1	1819.2
ΔT (°C)		0.8	3.6	7.1	14.2

- iii) ガス類の溶解度の増加
- iv) 粘度係数の増加と拡散係数の減少
- v) 熱伝導係数の増加

2.2 鋼塊偏析と圧力の関係

鋼塊の偏析はその大部分が凝固中に生ずる濃縮液相と Dendrite skelton の重力による浮上または沈澱に起因するものであると見てよいから、鋼塊の偏析防止は重力偏析を防止することであると見てよい。

鑄込後の鋼塊の熱的挙動を述べると、溶鋼の過熱は極めて速やかにすなわち鑄型の表面に最初の skin が生成される間の短時間内に失なわれて Liquidus temp. にまで降下するものである。しかし鋼塊の未凝固溶湯が一定に保たれている温度は真の平衡温度よりも過冷されている状態にあると考えられる (これについては別報する)，これが固液相界面の Liquidus から dendrite 凝固の進行に必要な過冷度である。このような過冷を ΔT_1 とすると液相に圧力を加えると Liquidus は ΔT_2 上昇し、過冷度 $\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2$ となる。固液相界域の Liquidus 過冷度は dendrite の凝固進行に必要な過冷に既に達しているのであるから、わずかの ΔT_2 の増加でも dendrite の急激な進行を生じ、 ΔT_2 の大なるほどすなわち圧力の大なるほど界面よりの dendrite の成長は急速になる。さらに圧力を加えることによつて

溶鋼凝固殻と鑄型との間の air gap ができないので鑄型による冷却効果が增大する。このため凝固は内部まで急速に継続する。

したがって、凝固中における偏析の時間的余裕を妨げる。すなわち、デンドライトの存在によつて濃縮液相の上昇を阻止するため重力偏析は殆ど完全に失なわれることが可能になる。

以上の他に (iv) の効果がこの傾向を助長し、また (iii) と (iv) の効果は非金属介在物やブローホールなどの減少に有利である。

3. 実験結果

2.1 実験方法

- i) 溶解炉: 750kg 塩基性高周波炉 2 基
- ii) 化学成分: C 0.29, Si 0.30, Mn 0.53, P 0.16, S 0.016, Ni 0.11, Cr 0.09, Mo 0.02

iii) 加圧用金型: 密閉金型とした

iv) 加圧条件

- 使用プレス: 2,000T
- 鑄込温度: 1,540°C
- 加圧圧力: 1,300 kg/cm²
- 金型の予熱温度: 常温
- 加圧時間: 30min

v) 試験材のサイズ: 420mmφ×680mmL, 750kg

2.2 実験結果

2.2.1 サルファープリントおよびマクロ組織

試験材を縦断し中心面のサルファープリントおよびマクロ組織を観察した。(写真省略) その結果内部は殆ど偏析がなく普通法のものに比較して著しく良好である。

2.2.2 化学成分, サンドおよび非金属介在物

試験材を Fig. 1 のように切断し試料 No. 1~No. 20 を採取した。

i) サンド

湿硫酸法によるサンド分析結果を Fig. 2 に示した。図中の→印は普通法の 560kg 鋼塊のものである。

図より明らかであるように、全サンドおよび SiO₂ は普通法の鋼塊に比較して平均値、バラツキともに小さい。特に SiO₂ の平均値は普通法の鋼塊の 1/3, バラツキは 1/14 で非常に少ない。Al₂O₃ は平均値の差は殆どないが、バラツキは加圧試験材の 34~68 p.p.m. に対して普通法のは 30~86 p.p.m. と大きい。

ii) 化学成分

化学成分のバラツキ(最上値-最下値)を普通法の類似の大きさの鋼塊のものと比較すると、

バラツキは普通法のもの約 1/2~1/3 で成分偏析の少ないことを示している。

iii) 顕微鏡的非金属介在物

A 系介在物の平均値は加圧試験材と普通法の鋼塊とは差

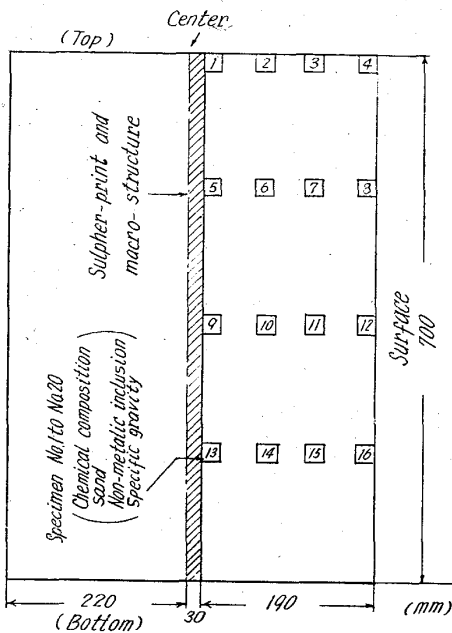


Fig. 1. Test pieces for each test of chemical composition, sand and non-metallic inclusion.

Table 1. Dispersion of chemical analysis.

	C	Si	Mn	P	S
pressure cast ingot	0.03	0.01	0.01	0.002	0.003
normal cast ingot	0.06	0.06	0.04	0.007	0.005

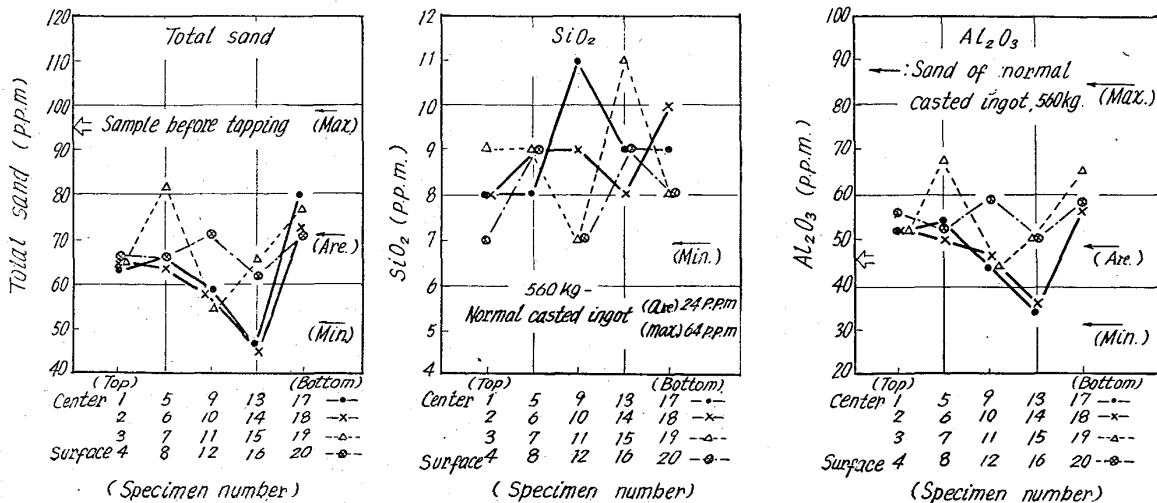


Fig. 2. Results of sand analysis.

異はないが、バラツキは普通法の鋼塊の 1/2 である。

C系介在物の平均値は普通法の鋼塊の 1/3, バラツキは 1/2 である。

非金属介在物の全量と分散はそれぞれ普通法の 1/2 および 3/4 で小さい。

すなわち、非金属介在物は溶鋼の加圧によつて絶対量、偏析度ともに著しく減少することを示している。

2・2・3 その他

その他加圧試験材は比重が増加し、内部が均質であることが推定され、また機械的性質もかなり向上している。

4. 結 言

0.3% C の溶鋼に密閉金型内において 1300 kg/cm² の高圧を加えて凝固させ、鋼塊本体重量 750 kg の中型鋼塊をつくり、溶鋼を高圧下で凝固させたときの鋼塊の内部性状と鋼質がどのように変化するかを調査した。その結果を要約すると次のごとくである。

1) Sulphur print ではほとんど偏析が認められない。

また内部欠陥（プロホール、ザク疵、砂疵など）が全然発生していない。

2) 化学成分の偏析度は普通法の鋼塊に比較して約 1/2~1/3 である。

3) 顕微鏡的非金属介在物は普通法の鋼塊に比較して少なく、特にC系介在物の減少が著しく、平均値は 1/2, 偏析度は 3/4 である。

4) 全サンド量の平均値は普通法の鋼塊の 85%, 偏析度は 70% である。特に SiO₂ の減少が著しく、平均値は 1/3, 偏析度は 1/14 である。

これらの結果は、加圧することにより、溶鋼の凝固点

の上昇、および熱伝導率の向上、Air Gap の消失などの現象が生じ、このため、溶鋼の急速な凝固と、さらには加圧下における溶鋼の粘性増加、成分の拡散速度の減少、水素、酸素などの溶解度の増大の諸現象によつて容易に理解される。

文 献

- 1) D. TCHERNOFF: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 2 (1902), p. 212.
- 2) H. HARMET: "
- 3) 溶鋼の型鍛造: 金属 29 巻 2 号 124.
- 4) D. N. BIDULZA, K. N. SMIRNOVE: Stahl u. Eisen, 81 (1961), p. 1146.
- 5) A. I. S. I.: Thermochemistry for Steel making (1960).
- 6) C. SCHWARZ: Arch. Eisenhüttenw., 32 (1931), p. 139.
- 7) C. BENDICKS, W. ERICSSON, U. G. ERICSSON: Arch. Eisenhüttenw., 3 (1930), p. 473.
- 8) 鉄鋼便覧: 昭和 37 年 4 月発行.
- 9) 石橋 正: 設計を主とした金属の強さ.
- 10) 美馬源次郎: 金属組織学.
- 11) 戸田 盛和: 液体構造論.
- 12) 金属便覧: 昭和 35 年 1 月発行.
- 13) 機械工学便覧: 1961 発行.
- 14) J. SAVAGE: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 200 (1962), p. 41.
- 15) A. DKIRSHENBAUM, J. A. CHAHILL: Trans. Met. Soc., 224 (1962) 8.
- 16) J. F. ELLIOTT, M. GLEISER: Thermochemistry for Steel making, 1 (1960).