

キャップド鋼塊のコア部について*

(キャップド鋼塊の研究—II)

加藤 健**・今井純一**・広瀬 豊**・梶岡博幸**

Studies on Core Zone in Capped Steel Ingots.

(Studies on capped steel ingots—II)

Takeshi Kato, Junichi Imai, Yutaka Hirose and Hiroyuki Kajioka

Synopsis:

In sequence of the previous report (Tetsu-to-Hagané, Vol. 45, 1959, 1139~1144) concerning surface conditions of the capped ingot, features of core zone in a capped ingot were examined and investigation was made about effect of ingot weight, degree of deoxidation and another factors upon segregation. The following results were obtained:

1. The segregation in core zone of a capped steel ingot was less pronounced than that of a rimmed steel ingot.
2. In a capped ingot, the degree of maximum segregation was increased with the amount of Al added in the ladle, but it was generally less pronounced and the maximum segregated zone was narrower than in a rimmed steel ingot.

I. 結 言

キャップド鋼塊の表面状況と製造要因の関係をさきに報告し、一定のソリッドスキンおよびリム部の厚さを得るための注入速度や脱酸度を明らかにした。しかしリムド鋼塊と同じようにキャップド鋼塊においても鋼塊表面の健全性を増加するとコア部の清浄性が害される懸念があり、また、キャップド鋼塊を製造する場合には成品の品質上の要求に応じてリム部およびコア部の清浄性の両面から製造要因を決定する必要があるように思われる。それゆえにキャップド鋼塊のコア部の清浄性は前報の表面状況と同様に鋼塊製造上看過できない問題である。

そこで前報で取り上げなかつた鋼塊性状と製造要因の関係を偏析を中心に検討した。

II. 実験の範囲

試験の対象は前報の Table 1 にある鋼塊で C: 0.06~0.09%, Mn: 0.36~0.50% の組成範囲を有し、製造要因として脱酸度、(取鋼投入 Al 量)、鋼塊重量、および注入法などを変更したものである。

これらの試験鋼塊の縦断により、サルファプリントを撮り、マクロ的な偏析状況を観察し、また縦断面の各部から径 20mm のドリルで分析試料を採取し、鋼塊各部の偏析程度を明らかにした。

また鋼塊の一部はブルームまたはピレットに圧延し、鋼塊の頭部または底部に相当する位置より鋼片試料を採

取し、鋼片の性状を調査するとともに、歩留算定のための頭部切捨量や介在物の分布の調査を行なった。

III. 実験結果および検討

(1) 偏析概況

偏析は前報の割れの問題と同様まだ解決されていない所が多いが、製造要因によりキャップド鋼の偏析がどの程度緩和できるかを知ることが目的として調査した。

キャップド鋼塊のマクロ偏析状況は代表的と思われるキャップド鋼塊の縦断面のサルファプリントの写真によつて Fig. 1 に示した。キャップド鋼のコア部内にはリム部との境界にある気泡性偏析、パイプ性の濃厚偏析およびそれに起点を有するΛ偏析が認められる他、ボトムに近い所には

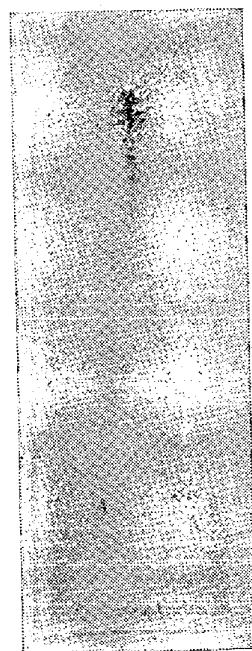


Fig. 1. Sulfur print of a capped 8t-slab ingot.

* 昭和 33 年 10 月本会講演会にて発表

** 八幡製鉄株式会社, 八幡製鉄所技術研究所

キルド鋼の沈澱晶部と類似したΔ型の負偏析部があり、キャップド鋼コア部の偏析状況はリムド鋼塊よりむしろセミキルド鋼塊のそれに類似している。それゆえにキャップド鋼塊のコア部の偏析についてはリムド鋼的な偏析傾向とセミキルド鋼的な偏析傾向を兼ね合せて考える必要がある。

(2) コア部の偏析 (濃厚部および負偏析部を除く)

リミングアクションの影響はコア部の偏析度に現れ、それが強いほどまた長時間にわたるほど偏析元素の凝集も大きいのでコア部の偏析が激しくなる。それゆえコア部の偏析度は負偏析を示すリム部の厚さまたはリム部の面積に関係するものであることは容易に推察できる。

リミングアクションの尺度として鋼塊断面のリム部面積率をとりコア部の偏析との関係を最も偏析しやすい元素であるSの偏析度について調査すると Fig. 2のごとくなる。図中リム部面積率は鋼塊中央高さでの全断面面積に対するリム部面積の割合であり、偏析度はコア部分析値の平均と取鍋分析値の比を意味している。同図にはリムド鋼塊の偏析も示したが、リムド鋼塊に比しキャップド鋼塊の偏析はリミングアクションの強弱にかかわらず非常に小さく取鍋下分析値とほとんど差がないようである。キャップド鋼はリムド鋼の頭部に早く蓋を置き、リミングアクションを早目に停止せしめたものであり、そのリムの薄いことは前報りで述べた。それゆえコア部の偏析がリムド鋼のそれより低いことは当然のことである。またキャップド鋼の範囲ではリム部面積率により偏析度は大きくは変化しないようである。同図には4t下注キャップド鋼の偏析度も示したが蓋打時間、注入速度がおそいのでリム部が厚くなり、それだけ偏析度も大きくなり、リムド鋼、上注キャップド鋼の中間程度の偏析を示している。

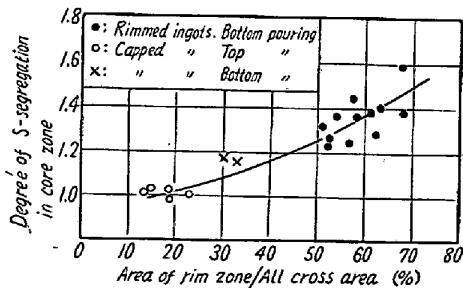


Fig. 2. Degree of S-segregation in core zone.

(3) 濃厚偏析部および負偏析部

濃厚偏析部の偏析程度は偏析性凝固および凝固時の熔鋼の運動によつて支配される。すなわち偏析係数および鋼塊重量に関係したものである。鋼塊が大きくなるほど

自由晶の範囲が広くなり、それが凝固に長時間要し、鋼塊中心方向の温度勾配が低くなり自由晶の生成および沈積が容易となり、その結果鋼塊頭部に不純元素が凝集される。鋼塊重量や偏析係数の濃厚部の偏析度におよぼす影響は押湯付キルド鋼塊について調べられているが、他の脱酸型式の鋼塊では脱酸度の影響をうけ凝固時の熔鋼の運動が異なるため調査されていないようである。鋼塊重量と偏析度の関係を最も偏析し易い元素であるSについて当所で切断した鋼塊や文献例¹⁾により鋼塊型式別に調査すると、Fig. 3のごとくなる。鋼塊例が少なく、

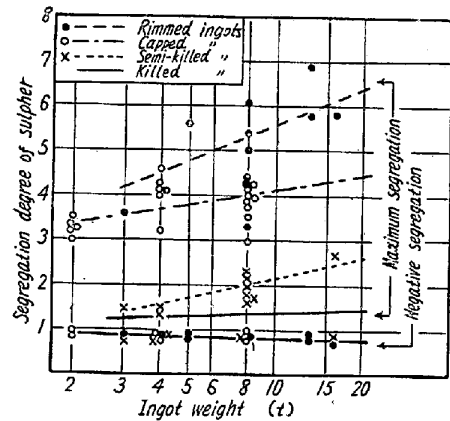


Fig. 3. Average maximum segregation of S in various types of ingots as a function of ingot weight.

キルド鋼以外の鋼塊は前述したごとく脱酸度の影響をうけるためバラツキは大きく、偏析試料採取位置にも問題があるので信頼性は低いが、キャップド鋼塊の大体の偏析傾向を知るには充分なものであると思う。同図によるとキャップド鋼塊は同じ単重のリムド鋼塊より濃厚偏析の点ですぐれているが、セミキルド鋼塊に較べれば劣ることが認められる。その他、キャップド鋼塊ではリムド鋼塊より鋼塊重量の偏析におよぼす影響が小さく、大鋼塊にした場合偏析の点ではキャップド鋼塊がいちじるしくすぐれているようである。

各元素につき Fig. 3のごとき関係を求め、それに基づき偏析係数と偏析度の関係を8t鋼塊について纏めると Fig. 4のごとくなる。偏析係数としては δ Feおよび γ Feに対するその平均値を採用した。偏析係数が大きくなるほど、偏析度も大きくなっている。また脱酸型式の弱い鋼塊ほど偏析係数の影響を強くうけることが認められる。これは凝固時の残存熔鋼の攪拌の程度がガスの発生状況に関係しているためであろう。Cの偏析はリムド鋼塊の方が低くなっているがリミング中にCがCOガスとなつて逃げるためと思われる。またこの図によつてもキャップド鋼塊の偏析はリムド鋼塊より小さいが、セミ

キルド鋼塊より大きく両者の中間程度であることがわかる。

濃厚偏析部の偏析程度には偏析性凝固のほかに残存熔鋼の攪拌が影響をおよぼすため、偏析係数および鋼塊重量によつて定るとはいえ、かなりのバラツキがある。脱酸度が強くなると偏析が小さくなるというセミキルド鋼塊での経験を考慮し、

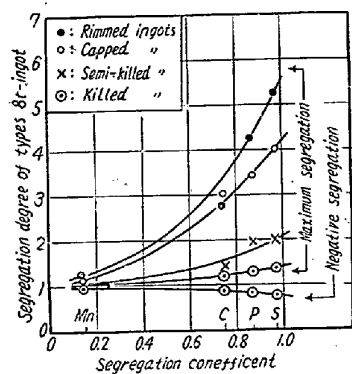


Fig. 4. Average maximum segregation of a 8 t ingot as a function of segregation coefficient.

脱酸度が強くなると偏析が小さくなるというセミキルド鋼塊での経験を考慮し、脱酸度とSの偏析度の関係について調査した。脱酸度の尺度として取鍋投入 Al 量を取つた場合を Fig. 5 に示すとセミキルド鋼塊の場合とは逆に取鍋投入 Al 量が多くなるほど、偏析度も強くなつてきている。この原因としては脱酸度が強くなる

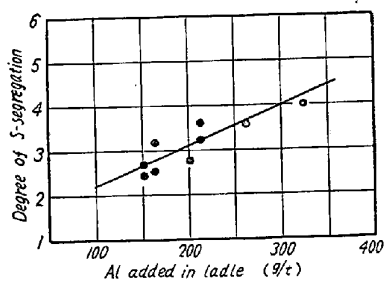


Fig. 5. The effect of Al added in a ladle on the degree of S-segregation at the max segregated zone.

と気泡による不純元素の分散が行なわれず、偏析元素の凝集がいちじるしくなるためであろうと考えられるが、コア部内の気泡の量は蓋打のため残存熔鋼の凝固収縮量に限定されていて、気泡内の圧力は熔鋼のガス発生圧と平衡していると考えれば、コア部の凝固に際しての脱酸度の尺度として取鍋投入 Al 量を取ることには問題があるように思われる。すなわち本実験の範囲では Al 投入量が少ないほど多量のガスを含有していて、蓋打後は熔鋼の内圧が増加し、この圧力を考慮に入れれば、同じ Al 投入量、同じ 0% でも脱酸度は強くなつていともいえる。

濃厚偏析部の発生範囲は鋼塊中で最後に凝固する部分であるので、鋳型の形状によつて変化する。キャップド鋼塊のそれはリムド鋼塊に較べ遙かに狭く、深い所にできるようである。注入後早期にかぶせた蓋の冷却効果によるものであろう。キー止作業をはぶくため内圧を抑えるに十分な重量のある蓋を使用した場合にはその位置が前述と同じ理由のためとくに深くなることが認められた。(Fig. 6 左参照) また、濃厚偏析部の発生範囲は注入速度の影響も受ける。例えば上注、下注によつて異な

り、下注した場合には発生範囲が短くなるようである。注入中の凝固のため注入速度が遅いほど上広型の凝固型式となり、底部からの凝固が効き凝固中心が頭部に移行するためであろう。このため下注を行なえば偏析程度が強くなり、リムド鋼のそれに近づくようである。

鋼塊中央下部の負偏析程度は Fig. 3 および Fig. 4 に最高偏析とともに示した。図中実線はキルド鋼の例であるが、同図よりいづれの脱酸型式の鋼塊も中央下部負偏析はキルド鋼塊と同程度であることが明らかであり、負偏析の生成機構がキルド鋼と同じ理由によるものであることが予想される。負偏析の発生範囲は濃厚部の偏析程度にも関係していると思われるが製造要因との関係については明らかにできなかった。

(4) その他

同じ脱酸度同じ注入速度のキャップド鋼片およびリムド鋼片の一例を Fig. 6 にサルファプリントの写真で示す。

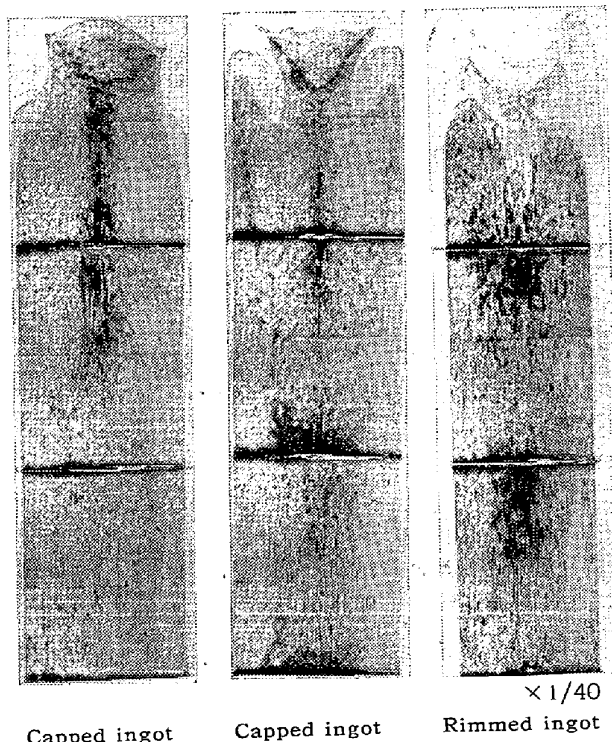


Fig. 6. Sulfur prints of the sections of slabs corresponding to the top part of ingots.

キャップド鋼片では頭部にスカムおよびメカニカルパイプがなく頭部切捨量を 2~5% 少なくしうるようである。キャップド鋼塊は頭部が絞つてあるのでメカニカルパイプが open top 鋼塊に較べ小さいのは当然であるがそのほかキャップド鋼塊の中では鋳型形状を張り肩よりなで肩にした方が歩留の点で有利のようである。キャップド鋼片頭部にスカムがないのは早期にリミングアクシ

オンを抑えるのでスカムの生成が少なく、かつスカム成分が頭部に浮上凝集する機会がなく、さらに鋼塊頭部が絞つてあるので圧延時に鋼片中に捲込まれないことによるのであろう。リムド鋼では製造要因により鋼塊頭部状況が異なるため歩留の点からこのスカムの管理が問題にされているが、キャップド鋼塊の頭部状況は蓋打する限りでは製造要因の影響を受けず安定した歩留が得られる。

キャップド鋼塊内の介在物はスカムのないことから多く残留しているように思われる。最も介在物が偏析するとされている鋼塊下部の沈澱晶相当部より85 mm ϕ に圧延した鋼片試料を採取し、砂疵試験を行なった。その結果を Fig. 7 に示す。リムド鋼片ではコア部に大きな砂

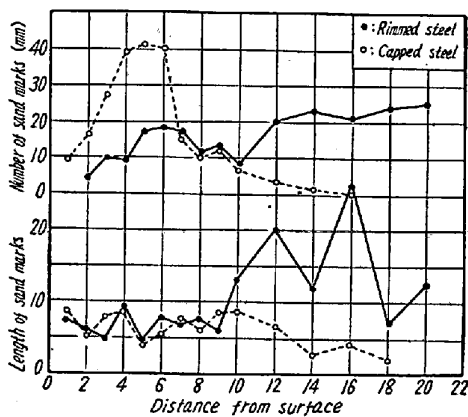


Fig. 7. Distribution of non-metallic inclusions as a function of length of sandmarks and number of sand marks.

疵があるが、一般にキャップド鋼片ではリムド鋼片に較べ砂疵が短かつ鋼片全断面に均一に分布している。砂疵の数はリムド鋼片では漸次増加しているが、キャップド鋼片ではリングアクションが抑えられたリム部終端に多くなつていて鋼片内部方向に徐々に減少している。頭部のスカムの生成が少ないこととリム部終端の介在物の凝集との関連が考えられる。砂疵試験の結果によれば

キャップド鋼塊のコア部内では介在物がリムド鋼塊内に較べ細く均一に分布しているようである。

IV. 結 論

前報りに引き続き実用キャップド鋼塊を主対象とし、鋼塊内部性状と製造要因の関係を検討し、つぎの結果を得た。

(1) コア部の偏析はリム部面積率によるが、リムド鋼に較べ小さく、取鍋下分析値と大差ないようである。下注キャップド鋼ではリムド鋼および上注のその中間程度である。

(2) 濃厚偏析の程度は鋼塊重量や偏析係数によつて決り、リムド鋼塊およびセミキルド鋼塊の中間程度であり、鋼塊重量や偏析係数の影響をリムド鋼ほど受けない。キャップド鋼の範囲では取鍋投入 Al 量が少ないほどその程度が小さくなる。発生範囲は鑄型の形状（蓋も含む）や注入速度によつて変化するが、一般にリムド鋼に較べれば発生範囲はきわめて狭い。

(3) キャップド鋼の頭部状況は製造要因の影響を受けず、またスカムの害がないのでリムド鋼より高い鋼片歩留が期待される。介在物は細く均一に分布している。

前報りの表面特性と本報告の結果により、キャップド鋼を応用する場合、生産される成品の品質上の要求に応じて製造要因を決めることができるようになった。

(昭和 34 年 6 月寄稿)

文 献

- 1) 加藤, 他: 鉄と鋼 Vol. 45 (1959) 1139~1144
- 2) Physical Chemistry of Steelmaking Committee A.I.M.E.: "Basic Open Hearth Steel Making" (1951)
- 3) M. Tenenbaum: Tr. A.I.M.E. 176 (1948) 108~163
- 4) E. Marburg: J. of Met. (1953) Feb., 157~172