

## (討16) 鋼塊の鑄造における R I の利用

八幡製鉄 技術研究所 ○森 久

鋼塊の品質向上を目的として、注入・凝固条件が鋼塊性状におよぼす影響については多数の報告があるが、この点に関する側面からのアプローチとして、R I トレーサー法により鋼塊凝固中の残溶鋼の湯動きや介在物の挙動をしらべた筆者らの研究を中心として述べてみたい。

鋼塊凝固中の湯動きが鋼塊のマクロ偏析や介在物分布に影響することは、リムド鋼塊とキルド鋼塊性状の差異の原因にふれるまでもなく周知の事実であるが、湯動きの状況やこれに及ぼす要因の影響を実証することは、常法では困難であつた。ところが、R I 法の利用により、かなりの知見が得られるようになった。

キルド鋼塊凝固中の湯動きについては、 $^{86}\text{S}$  を使用して得られた Kosmider<sup>1)</sup> の説があるが、追試として、低炭もしくは中炭 Al キルド鋼を 1 t 鑄型に上注ぎ後 1 ~ 30 min のちに、 $^{198}\text{Au}$  もしくは  $^{140}\text{La}$  を 1 ~ 3 回にわたつて押湯部に挿入し、鋼塊縦断面の R I の分布をオートラジオグラフ法でしらべた。その結果 Kosmider の説のごとく、未凝固部周辺の凝固面に沿つて下降する溶鋼流と、未凝固部内部にこれを補うための上昇流が存在することを認め、熱的対流などが Solute Convection に優先していることを明らかにした。<sup>2)</sup> 鋼塊底面側の凝固前面において柱状晶もしくは分枝樹状晶が生長している期間は、このような湯動きが残溶鋼全容積にわたつて持続するが、底面上の凝固がいわゆる沈澱晶の組織で進行する時期になると、完全に凝固はしていないが湯動きのほとんどない粘調な層が、底面側の凝固面上に逐次滞溜することが、Bar Test による中心軸方向の凝固の進行調査とオートラジオグラフから明らかとなつた。<sup>3)</sup> なお、注入条件と湯動きとの関連については、注入温度と液相線温度との差が小さいほど、高炭になるほど、湯動きのない範囲が増加するが、これは要因の同様な変化につれて、柱状晶が短く沈澱晶の範囲が広がる現象と対応している。また、凝固前面に沿つた溶鋼の下降速度を、鋼塊の凝固速度係数を仮定して鋼塊側面高さ方向の R I の分布しない厚さの変化から算出すると、10 ~ 100 cm/min のオーダー（この値は鋼塊サイズによつて変り得る）であり、凝固の進行につれておそくなる。<sup>2)</sup> キルド鋼塊凝固中に機械的振動（上下方向振幅 0.12 mm、振動数 1800 C/S）を与えると、注ぎわけた比較鋼塊に比して、柱状晶が短く、沈澱晶部が広く、沈澱晶部の負偏析および介在物が増加するなど、より低温注入鋼塊と類似の性状を示すが、凝固中の湯動きについても、振動鋼塊のほうが  $^{198}\text{Au}$  の分布範囲がせまい。<sup>3)</sup> 鋼塊縦断面のオートラジオグラフの 1 例を写真 1 に示す。振動がこの様に影響する理由は、生長しつつある柱状デンドライトが振動によつて破碎されて、対流に伴われて鋼塊底部にサスペンドするためと考えられる。

一方、リムド鋼塊凝固中の湯動きについては、4 ~ 20 t の低炭リムド鋼塊の注入終より 0 ~ 30 min のちのいろいろな時期に  $^{198}\text{Au}$  を溶鋼表面近くに挿入し、 $^{198}\text{Au}$  が鋼塊内に分布した範囲をスキヤニング法でしらべた。その結果、注入終よりほぼ 5 min 以上のちに、鋼塊底部に凝固はしていないが  $^{198}\text{Au}$  が分布しない範囲が生成し始め、時間と

## S542

共にほぼ直線的に生長して、注入終から17 min後の $^{198}\text{Au}$ の分布しない厚さは20~60 cmにもなることがわかった。17 min後におけるAuの分布しない厚さは、注入温度が高いほど、鋼塊高さが低いほど、またリミング中に $\text{O}_2$ ガスを吹付けると減少する。<sup>2)</sup>このような湯動きのない粘調層の生成状況をさらに詳細にしらべるため、注入終より10.3 minに $^{198}\text{Au}$ を挿入した1.7 t鋼塊縦断面のオートラジオグラフを写真2に示す。鋼塊側面側の $^{198}\text{Au}$ の分布しない厚さは約10 cmで $^{198}\text{Au}$ の分布境界は明瞭であるのに対して、底面上のAuの分布しない厚さは40 cm以上あり、境界も不規則な形でぼやけている。また、側面側の凝固前面に沿って尾状の $^{198}\text{Au}$ の分布した範囲が下方に突き出している。これらのことから、リミング中にボトムに湯動きのない粘調相が、底面上のリミングアクションが弱まるにつれて滞留生長し、鋼塊側面側の凝固前面——とくに隅角部において—— $\text{CO}$ 気泡発生による湯動きが最も長く持続することがわかった。<sup>2)</sup>

リムド鋼塊とキルド鋼塊の中間と考えられるケミカルキャップド鋼塊については、注入終から $^{198}\text{Au}-\text{Al}$ でキャップするまでの時間が長いほど、 $^{198}\text{Au}$ の分布の不均一性ならびに鋼塊高さ方向の脱酸度の不均一性が著しくなり、鋼塊ボトムはリムド鋼塊コア部状の気泡ならびにマクロ組織を示し、トップからミドルにかけてはキルド鋼塊の性状を示すが、このキルド鋼塊の性状を示す範囲の組織が、極低温注入のキルド鋼塊組織に類似することが認められた。<sup>3)</sup>1例として、注入終より9 min後に $^{198}\text{Au}-\text{Al}$ 棒(600 g)を挿入してキャップした0.7 t鋼塊縦断面のオートラジオグラフを写真3に示す。

このように、柱状晶が軸心付近まで生長するようなキルド鋼塊に比べて、リムド鋼塊のほうが、 $\text{CO}$ ガス浮上による攪拌が行われているにもかかわらず、より早期に鋼塊ボトムにおける湯動きが停滞する理由は、残溶鋼内にサスペンドしている浮遊結晶片の濃度が高まるにつれて、これがボトムに沈降して濃密にサスペンドし、ボトムの湯動きを阻害するためと考えられる。すなわち、リミングアクションによつて凝固前面の結晶の先端が破碎されること、および露出した溶鋼表面においても結晶片が析出することにより、リムド鋼塊残溶鋼の粘度は、同じサイズの鑄型同じ凝固時間について、押湯付低炭Alキルド鋼塊のそれに比べて高いものと推測される。

鋼塊内の介在物分布ならびに成因についても、外来介在物と内在介在物との識別、1次脱酸生成物と凝固中に析出した2次脱酸生成物との識別は常法ではかなり困難であるが、RI法によつて容易に追跡することができる。

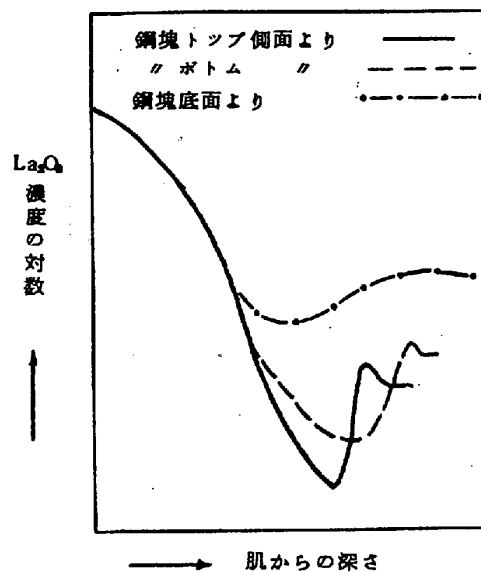
メタリック $^{140}\text{La}$ を注入中に鑄型内に添加して、リムド鋼塊内の $^{140}\text{La}_2\text{O}_3$ の分布を段削りしたチップを計数してしらべた多数の例によると、第1図に模式的に示す傾向がみられる。ここで注目すべき現象として、リミング初期では肌からの深さと共に $\text{La}_2\text{O}_3$ 濃度が減少するが、底面側が最も早く極小値になつたのちゆるやかに増加して極大値を示し、再び下降するのに対して、側面側はより長時間減少を続け、底面側よりも低い極小値になつたのちリム—コア境界で急増している。また、側面側のトップとボトムの差異もリミング中期以後に顕著となり、ボトムの減少勾配はよりゆるやかになる。リミング中の $\text{La}_2\text{O}_3$ の浮上が不良であつた鋼塊縦断面のオートラジオグラフを写真4に示すが、鋼塊ボトムコア部に下方向に黒い尾を引いた白点が認められる。この白点は気泡である場合が多い。これは、気泡が $\text{La}_2\text{O}_3$ を表面に富化捕捉しながら粘調相内を上昇したため、気

泡の軌跡は  $\text{La}_2\text{O}_3$  濃度が低くなり、気泡が浮上しきれずに残留した箇所は  $\text{La}_2\text{O}_3$  が富化したと考えられる<sup>2)</sup>。介在物の浮上分離速度については、攪拌浴と静止浴で相違することが、宮下<sup>4)</sup>、川和<sup>5)</sup>の研究で明らかにされており、攪拌浴中の浮上分離が1次則に従うと仮定して浮上分離速度係数を求めてみると、出鋼中の取鍋内リムド鋼浴中の  $\text{La}_2\text{O}_3$  では  $0.8 \text{ min}^{-1}$  程度<sup>2)</sup>、リミング中の残溶鋼内の  $\text{La}_2\text{O}_3$  では  $0.3 \sim 1.0 \text{ min}^{-1}$  で凝固時間と共に減少する結果が得られた<sup>6)</sup>。さらに、残溶鋼中の  $\text{La}_2\text{O}_3$  濃度と凝固鋼のそれとの比から、残溶鋼の  $\text{La}_2\text{O}_3$  が凝固層にトラップされる確率をある仮定を入れて求めてみると、凝固の進行につれて——すなわち凝固速度の減少につれて——トラップされる確率が低下することがわかった。一方、リムド鋼塊内の酸化物系介在物は、

第1図のボトムの  $\text{La}_2\text{O}_3$  濃度極大位置付近に大型介在物が多く残留し、キルド鋼塊についても、いわゆる沈澱晶部に酸化物系介在物が多く大型のものが残留することは周知であり、<sup>140</sup>Laを取鍋もしくは注入中に添加したキルド鋼塊縦断面のオートラジオグラフにも認められる。

これらの結果から、キルド鋼塊リムド鋼塊共にボトムに大型介在物が多く残留する理由は、キルド鋼塊において熱的対流や結晶片の沈降に伴われて介在物が下降するほか、結晶片がボトムに濃密にサスペンドしてこの部の湯動きを停滞させ、介在物の浮上分離を阻害することによるところが大きいのと考えられる。介在物が大型化する理由は、液相線と固相線の間温度で保持すると介在物の凝集肥大をもたらすとの中川<sup>7)</sup>らの報告からわかるように、結晶片が底部にサスペンドしてから凝固完了までの長時間の間に、このような凝集肥大がおこり、しかもリムド鋼塊については、ボトムにおける断続的な弱いCO気泡浮上による局所的な攪拌によつて、凝集肥大がより促進されるためと考えられる。したがって、リムド鋼塊およびキルド鋼塊において、ボトム部の大型介在物の残留を低減させるためには、ボトムにおける粘調相の滞留を低減するような注入・凝固条件をえらぶと共に、リムド鋼については粘調相滞留後のリミングを停止させるべきであると考えられる。リムド鋼塊のスカムの再まきこみによる介在物については、<sup>140</sup>La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>で標識したスカムを添加して鋼塊内の  $\text{La}_2\text{O}_3$  の分布をしらべたところ、R I添加時の粘調相の直上にスカム起源介在物が最も多く残留しており、しかもこの量は全介在物の3%以下であることを認め、スカムの再まきこみによる介在物はマイナーなものに過ぎないと考えている<sup>2)</sup>。一方、浅野<sup>8)</sup>は、リムド鋼塊底部の大型介在物は主にスカムのまきこみによるものと考えており、筆者らと見解を異にしている。

耐火物やスラグ起源の外来介在物の追跡は、ソ連、ドイツ、イギリスなどにおける多数の報告があり、我国でも斎藤らの先駆的研究のほかいくつかの報告があるが、内容



第1図  $\text{La}_2\text{O}_3$  の鋼塊内分布模式図

# S544

が多岐にわたるので省略する。

連続鋳造における凝固速度やクーラー帯の深さの測定に、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{52}\text{P}$ や、 $^{60}\text{Co}$ を封入した

Wカプセルを挿入もしくは投入したソ連やハンガリーの報告があるが、筆者らも、 $^{60}\text{Co}$ を封入した白金カプセルや金属線状の $^{198}\text{Au}$ を植えた $^{198}\text{Au}-\text{Pb}$ 合金を投入した経験がある。

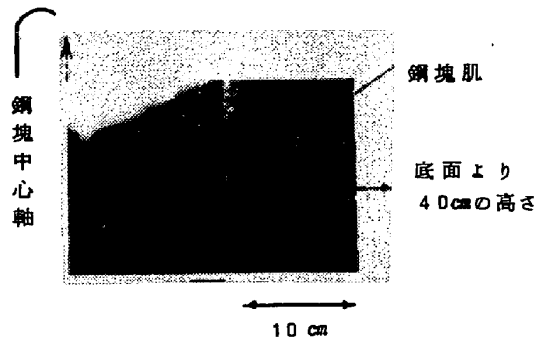
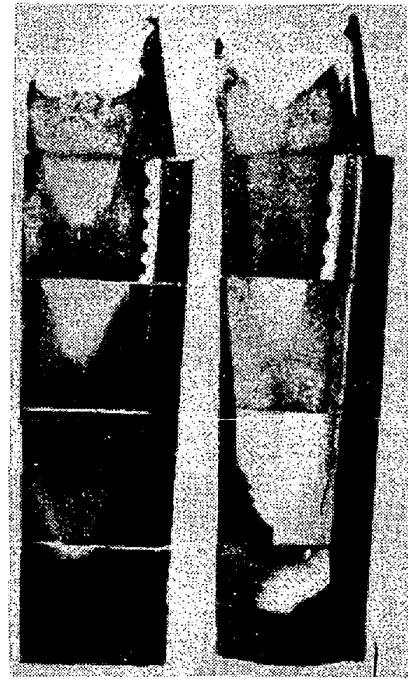


写真2 注入終より10.3minのちに $^{198}\text{Au}$ を挿入した低炭リムド鋼塊(1.7t)



A: 全期振動 B: 静置  
( $^{198}\text{Au}$ は、注入始より、5、15、30 min後に挿入。)

写真1  $^{198}\text{Au}$ を押湯部に挿入した低炭Alキルド鋼塊

## 文献

- 1) H. Kosmider et al. U. Eisen 77, (1957) 133
- 2) 森, 他; 鉄と鋼, 50, (1964) 1754, 1848  
51, (1965) 1879, 1973  
52, (1966) 419, 1552
- 3) 森, 他; 未発表
- 4) 宮下; 鉄と鋼 50, (1964) 507
- 5) 川和, 他; 鉄と鋼 50, (1964) 1859
- 6) 森, 谷沢, 山手; 本講演大会
- 7) 中川, 百瀬; 鉄と鋼 53, (1967) 342
- 8) 浅野, 大橋, 塗; 鉄と鋼 53, (1967) 371

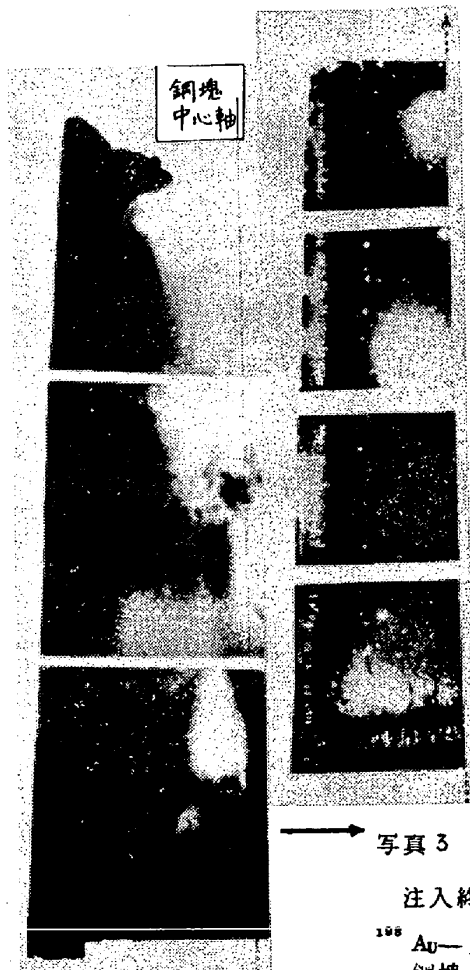


写真3

注入終より9 minのちに $^{198}\text{Au}-\text{Al}$ でキャップした鋼塊(0.7t)

写真4

注入中にメタリック $^{140}\text{La}$ を投入した低炭リムド鋼塊(0.7t)