

(97) リドム鋼塊の凝固特性について
Study on the Solidification Charactor
of Rimmed Steel

J. Ooka, et alius.

八幡製鉄, 技術研究所

工 加 藤 健・工〇大岡 耕之

I. 緒 言

鋼塊の凝固機構に関する研究は造塊上の基本問題であり, 適正なトラック・タイムの決定, 熱経済性および鋼塊組織の健全性等に影響する重要な問題であるから従来多くの研究者により種々の角度から研究されて来ている. 当所では先ず鋼塊の完全凝固に要する時間を知るべく, 既報のように鑄型内の温度勾配の時間的変化の測定を実施しており, この実験をさらに実用鋼塊にまで拡張しつつある. しかし, リドム鋼塊の場合には凝固中のリミング・アクションのためこの方法のみでその凝固時間を知ることはできないのではないかと推察される.

リドム鋼の凝固機構に関しては当所の小平氏の広汎な研究やリミング・アクションに伴う偏析機構の解明に重点を置いた石原氏の研究の他, 多くの報告があり, キルド鋼塊の場合との相異が明らかにされているとはいえ, その内質部の凝固については不明の点が多い. この理由は主としてリドム鋼塊の凝固についての研究に対する従来の実験は凝固前半に限られ, 内質部の凝固状況については実験調査が困難であり, 正確な把握がむづかしかつたためである.

本報告はこのような考えに基いて, リドム鋼の凝固末期の鋼塊内質の凝固機構を明らかにするため, リドム鋼へ thermometric measurment を適用して, 二, 三の実験を行つた結果について述べたものである.

II. 実 験 方 法

Fig. 1 に本研究に用いた実験装置を示すが熱電線(Pt, Pt-Rh 線)は 2 本の透明石英管 (3×5mm φ, 2.5×1.5mm φ) でリミング中の熔鋼の攪拌や凝固時の収縮応力等から保護されている.

Pt-Pt·Rh 線は熱接点を中心として両側に分けられ, 鑄型壁を通して測定位置に設置されている.

この装置により鋼塊内の熱接点の位置の熱分析を行い凝固過程の鋼塊内温度変化を調査した.

実験に当つては試験用 250 kg 塩基性電気炉を用い, 目標成分 C 0.08~0.10%, Mn 0.25~0.35%, S, P < 0.025% について 200~250 kg 下注リドム鋼およびキルド鋼を熔製し, 比較測定を行つた. なお測定点は 1 鋼塊につき 10 点であり, Fig. 1 に示している.

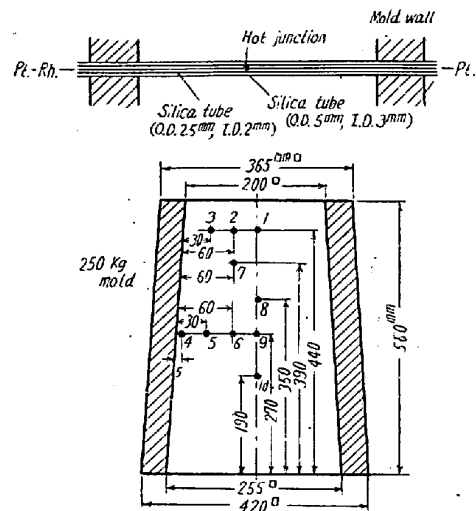


Fig. 1. Apparatus and location of measured position in test ingot.

III. 実験結果および考察

Fig. 1 に示したように測定は鋼塊頭部, 中央部横方向, 鋼塊上半部軸方向に重点を置いたが, 測定結果の一例を上記成分リドム鋼について Fig. 2 に示す. 横軸は熔鋼が鑄型内に流入した時間を起点とし, その後の経過時間を示しており, 図中点線は鋼塊頭部横方向, 実線は中央部横方向における測定点での温度変化を示す.

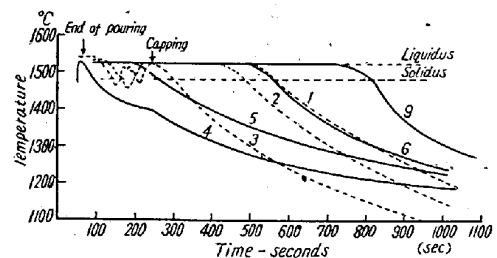


Fig. 2. Temperature cycles in ingot.

この図から次のことが明らかである.

1) 曲線 4 は鑄型壁から 5 mm の点の測定結果であるが注入終了後 180~190 秒の位置を境にして温度変化の状況が異つてはいるがこれは鋼塊表面と鑄型内壁との間の空隙形成時期と考えられる.

2) 曲線 1, 2 は鋼塊頭通位置での測定値であるが蓋置き前の時期に異状温度降下が認められ, しかも同列曲線 3 (熔鋼表面側) には認められない. この現象は同一高さに注入された下注キルド鋼や膨脹気味のリドム鋼には認められないことと鋼塊切断後の調査とから活潑なリミング・アクションによる熔鋼面の攪拌のため測定点が大気に触れる場合があつたためでないかと思われる.

3) 鋼塊内各位置での温度変化の状況が明らかであり, 実験対象が 200 kg リドム鋼塊であるがその温度変

化の状況は冷却条件（鑄型・鋼塊断面比等）が同様である場合には実用鋼塊への適用も可能と思われ、今後検討の予定である。

Fig. 3 は上述の thermometric measurement によって求めた鋼塊中央位置での横方向凝固曲線の一例である。実験は上記目標成分について下注キルド・リムド鋼を熔製し、250 kg 鑄型におおむね同一注入温度、同一高さに注入して比較した。図中点線は凝固開始時期を、実線は凝固完了時期を示す曲線である。

各曲線は測定位置通過後の時間経過について示した。なお、リムド鋼の外殻凝固についての小平氏の実験式 $d=2.8\sqrt{t}$ を併示した。

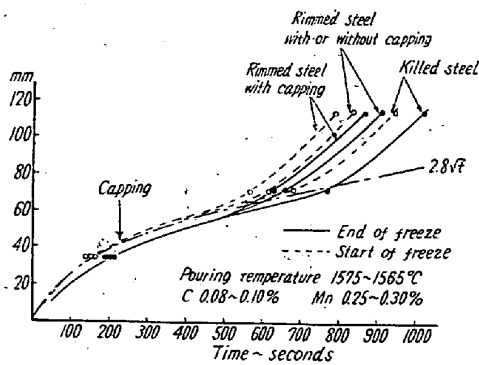


Fig. 3. Linear progression of solidification

Fig. 3 から 1) 外殻凝固実験式 $d=2.8\sqrt{t}$ (Chipman の実験式 $d=2.95\sqrt{t}-3.05$ もおおむね同様である) は凝固初期において図中点線、すなわち凝固開始期を示す曲線とおおむね一致する。

この事実はこれらの実験式が S 投入試験, dumping test に基くことや liquidus, solidus の gap の存在を考えれば容易に了解されよう。

完全凝固状態を考えれば鋼種に限定されることなく、鋼塊中央高さ横方向での凝固前半については

$$d = a\sqrt{t} - c \text{ にしたがうことが確認された。}$$

ただし d : 凝固厚さ mm, t : 経過時間 sec, $a=2.3$, c : 凝固初期条件によって決される定数

2) 凝固後半にいたって凝固曲線は急速に立上りを示し、凝固速度が加速されている。これについてはすでに多くの研究者により計算あるいは考察に基いて指摘されており、凝固の終期では \sqrt{t} の法則にしたがわないことはすでに知られているが次に述べるごとくりムド鋼塊はキルド鋼塊より後半の凝固が速いことが明確に示された。なお熔鋼では liquidus, solidus の gap が存在し、かつ凝固終期では pasty-zone の存在することを考えると dumping test やこれに類する実験による凝固

の確認には誤差を伴い易いが thermometric measurement はこれを容易に正確に確認しうることが示された。

Fig. 3 に示した本実験の一例によれば 210mmφ リムド鋼塊の完全凝固時間は 14 分 20 秒、キルド鋼塊では 17 分であり、約 2 分 30 秒短縮されている。一方リミング・アクションが弱く、膨脹を伴って凝固するリムド鋼塊では完全凝固時間は 15 分 10 秒であり、中間に位置している。このことはすでにリミング・アクションによる方面からの輻射熱損失、残存熔鋼中の浮遊微小結晶片の存在等を考えて推定されていた所であるが、本実験によって明確に示された。

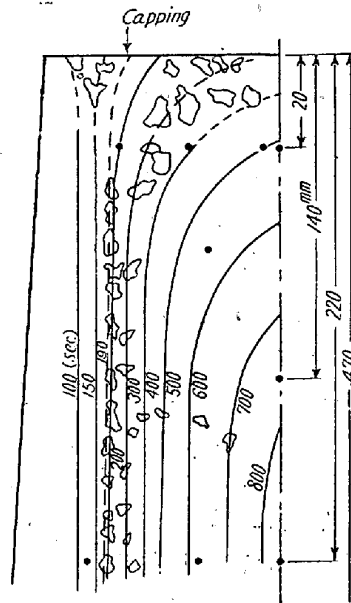


Fig. 4. Solidification pattern in top part or rimmed big end-down ingot.

しかし本実験は 200 kg 鋼塊を対象としたものであり、大鋼塊については今後検討の予定であるが鑄型内熔鋼面からの熱損失が鋼塊断面積とリミング・アクションの強弱による大気との有効接触面積や時間等の函数であることを考えれば若干の測定を追加するのみで種々の実用鋼塊の場合についてその凝固時間を推察することができると思われる。

Fig. 4 はこのような thermometric measurement と、その後の鋼塊の切断調査とから求めたリムド鋼塊の等凝固線を示す。ここに示す等凝固線は鋼塊の S プリントによる頭部粒状気泡性偏析と気泡附近の等凝固線の移動状況および内質外周の気泡群が外殻と内質の凝固変換期に位置し、おおむね一定の等凝固面に沿って生じていること等を併せ考えれば妥当なものといえよう。

IV. 結 言

リムド鋼への thermometric measurement の適用と二・三の実験結果について述べたが結論すると

1. 本実験での 200 kg 鋼塊の鋼塊中央高さ横方向の凝固に関し、リムド鋼とキルド鋼では凝固時間に明らかに差異があり、しかもリミング・アクションの強い程、短縮されることが確認された。
2. dumping test および S 投入試験に基く従来の凝固

固初期の実験式は凝固開始時を基にした凝固線に一致し、完全凝固状態を考えれば

$$d=2\cdot3\sqrt{t}-c \quad (d: \text{mm} \quad t: \text{sec} \quad c: \text{定数})$$

に一致し、鋼種に関係はない。

3. 凝固後半は凝固速度が増大し、 \sqrt{t} の法則にしたがわない。しかも活潑なりミング・アクションを行つたリムド鋼程、凝固速度増大の時期が早い。(文献省略)

(98) トラックタイムのセミキルド鋼塊におよぼす影響

Effect of Track Time on the Semi-Killed Steel Ingots

M. Katayama et alii.

川崎製鉄，千葉製鉄所

工 岩村 英郎・工 八木 靖浩

工 長門 巖・工〇片山 本善

I. 緒 言

トラックタイムに関しては、従来これを短縮すればする程、分凝工場の熱量および動力原単位を低下させ、分塊歩止を向上させ得るとされ、作業管理上その短縮の利点のみが強調されていた。当製鉄所では、製鋼と分塊の両工場が一直線上に配置されているため、台車上注の大型鋼塊のトラックタイムを、容易に1h位になし得る。そこで果して品質上の問題がなく、前述の利点のみかを実験した。結果、過早のトラックタイムはセミキルド鋼の場合、異常偏析を起すことが判明した。その概要を報告する。

II. 予 備 実 験

予備実験として、異常偏析の有無および場所のチェックを2ヒートについて試みた後、在炉時間の影響のチェックを3ヒートについて実施した。トラックタイムは各ヒート共70mnおよび4h以上の2種類について鋼塊を指定した。

1. 鋼種 セミキルド鋼 (C<0.20, Si<0.10, Mn: 0.40~0.60, P, S<0.40%)
2. 試験鋼塊 鑄型の名称 C10C
底部断面 1130×750
高 さ 1900mm 前後
重 量 11t 前後
3. 型抜はいずれも均熱炉前において同時に行い、1方は直ちに均熱炉へ、他はその儘冷却後装入した。
4. スラブ寸法 200×1000 3枚取
5. 試験片は各スラブおよび製品より採取し、S-print

および材料試験を行つた。

結果として、異常偏析は鋼塊に復元して中央から頭部、特に底部から2/3位の所のはなはだしいことが判明した。在炉時間の長短には関係がなさそうである。異常偏析の生じたスラブの製品には、矢張りSの集中した黒線が存在する。スラブから試験片をとつて、材料試験を行なうと、スラブの板厚中央部では異常偏析のあるもの程、不良であるが、製品厚板に圧延後の通常材料試験では差が認められない。

III. 本 実 験 1

本実験としてトラックタイムの限界を求めるために3ヒート、熔接性の試験を行うために1ヒートそれぞれ出鋼した。試験方法は前と全く同様で、トラックタイムは限界を求める試験では、40mn, 90mn, 150mn および200mnの4種類とした。スラブにおける異常偏析の模様を、模式的にFig. 1に示す。

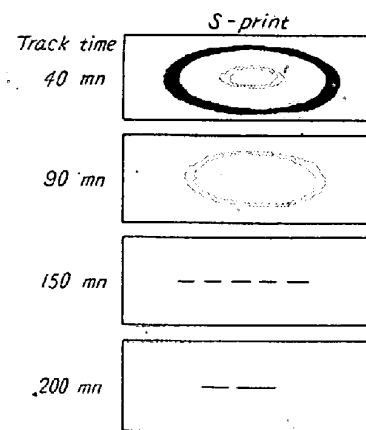


Fig. 1. Sulphur print of slab section from C-10-C ingots by various track times.

偏析成分はC, S, Pで特にSがはなはだしい。この鑄型の限界は90~150mnの間と思われる。今回も材料試験に差は認められなかつた。そのため溶接性の試験として、90mnおよび4h以上のトラックタイムのものを、同一ヒート内より撰定し、ユニオンメルトおよび隅肉溶接を実施した。隅肉溶接では異常が認められなかつたが、Sの濃化帯のある製品はユニオンメルトにより、濃化帯の端から熔着部のdendriteに沿つて走るcrackが認められた。

IV. 本 実 験 2

以上同一鑄型により、トラックタイムの限界および影響を求めたのであるが、偏平度の異なる種々の鑄型の限界を現在追究中である。これによれば同一重量用の鑄型ならトラックタイムが同一の場合、偏平度の大きいもの程、その影響が小さい。すなわち限界までの時間が短いこと