

Photo. 3. Macro structure of D-type ingots.

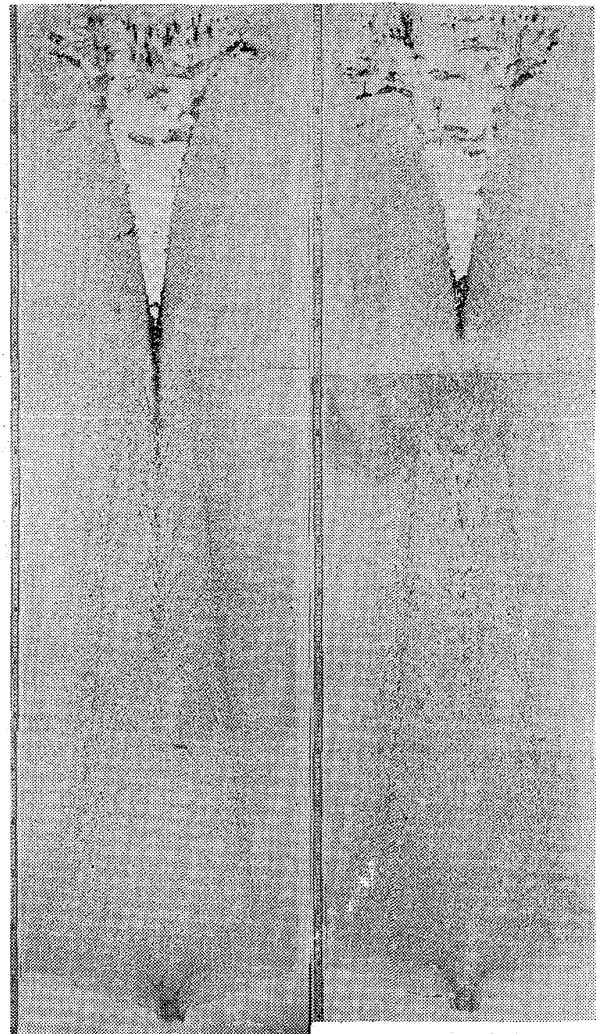


Photo. 4. Sulphur print of D-type ingots.

Table 4. Apparent specific gravity of ingot and height of cavity.

Ingot type	H/D	Apparent specific gravity	Height of cavity
D	3.71	7.75	32%
C	3.52	(6.64)*	

* Dispersion of the data are large.

る透よ視などが広く使われているが、鋼塊の見かけ比重の測定によつて、ほぼ実態を推測できることが判明した。

- 2) 鋼塊の H/D が大きくなるにしたがい、鋼塊上部の凝固速度が早くなるため、後注ぎによる「押し」の効果が大きくなり収縮孔の割合は小さくなる。
- 3) 鋼塊上部の凝固速度を早くするような注入法をとることによつて、2) と同様な結果となり、収縮孔は減少する。
- 4) 収縮孔を鋼塊上部に集中するためには、押湯付鋼塊と同様に、下部からの冷却を強化することが必要であろう。

(124) 均熱炉におけるセミキルド鋼塊の倒立装入について

八幡製鉄所, 技術管理部

甲斐 幹・市川

保・高木清八郎

〃 技術研究所

神田 光雄

〃 技術管理部

○元田 欽也

On the Upside Down Charging for Semi-Killed Ingots in Soaking Pits.

Tsuyoshi KAI, Tamotsu ICHIKAWA
Seihachirō TAKAGI, Mitsuo KANDA
and Kinya MOTODA

1. 緒言

セミキルド鋼塊に存在する内部欠陥は、圧延後も残留し鋼片または製品に出現することがあるので、この出現を防止することが製造上の大きな問題の一つである。この防止対策の一つとして当所では均熱炉において鋼塊の倒立装入を実施しているの、これに関する技術的諸問題について報告する。

2. 工場試験

セミキルド鋼塊について鋼片パイプ, または製品パイプの発生を減少させるために鋼塊の倒立装入試験を各鋼種について数回にわたって実施したので, これらの試験要領および試験結果の概要を説明する。

2.1 均熱炉における鋼塊装入方法

2.1.1 正立装入

鋼塊を造塊場で型抜きしたままの姿勢で均熱炉に装入するのが正立装入であり, 当所の通常作業がこれである。

2.1.2 倒立装入

鋼塊を造塊場で型抜きしてから, 製鋼工場または分塊工場で鋼塊装入機によつて転倒し, 型抜時とは天地を逆にした姿勢で均熱炉に装入するのが倒立装入である。

2.2 試験要領

- 1) 試験鋼種 セミキルド条鋼材, セミキルド厚板材
- 2) 試験単位 チャージを2分割しておのおのを正立, 倒立装入する
- 3) 倒立を行なう工場 分塊または製鋼工場
- 4) 均熱炉形式 特に指定しない
- 5) 調査項目
 - i) 鋼塊頭部形状
 - ii) 鋼片および製品パイプ発生状況
 - iii) 均熱炉内における鋼塊表面温度
 - iv) 鋼塊または鋼片切断調査

当所では製鋼→分塊→製品圧延という工程により製品は製造されているので, 鋼塊のパイプは中間製品である鋼片(スラブまたはブルーム)と最終製品に出現する。したがって鋼片と製品の両者を試験の対象とした。

2.3 試験結果

2.3.1 製品パイプ

製品パイプについて装入法別に検定した結果を Table 1 に示す。

Table 1 から倒立装入が製品パイプの減少に効果のあることがわかる。またセミキルド厚板材について装入法別に超音波探傷を行なった例があるが, 倒立材の欠陥発生率は正立材よりも品種Dで1.0%, 品種Eでは1.8% 少なかった。(の場合の欠陥発生率の表示は次式による。

$$\text{欠陥発生率}(\%) = (\text{欠陥探傷個数}) / (\text{総探傷個数}) \times 100$$

しかしながらすべての鋼種について探立装入の効果がある。

Table 1. Comparison of occurred internal defects.

Products	Grade	Difference of occurred internal defects (%)	Note
		Difference between normal charging ^(I) and upside down charging ^(II) (I)-(II)	
Shaped steel	A	1.8	(Rejected pieces/Total pieces) × 100
	B	3.8	(Rejected weight/Total weight) × 100
	C	2.2	
Heavy plate	D	5.6	(Rejected sheets/Total sheets) × 100
	E	6.2	

認められたわけではなく, 効果が十分には認められないものもあつた。

2.3.2 鋼片パイプ

鋼片パイプについて装入法別に調査した例を示す。

i) セミキルド条鋼材 品種A

分塊でのパイプによるブルーム切捨量が倒立材では正立材よりも1.0% 減少した。(この場合の鋼片パイプ発生率の表示は次式による。ブルーム切捨量(%) = (パイプによる切捨屯数)/(鋼塊屯数) × 100)

ii) セミキルド条鋼材 品種B

鋼片の残留パイプ長さを超音波探傷により調査した結果では, 倒立材では正立材よりも平均的に260mm短かかつた。

このように鋼片パイプについても倒立装入の効果が認められたが, 実際問題としては鋼片パイプは製品パイプとは異なり, たとえ鋼片の切捨量が少なくてもパイプが残留してもそれが必ず最終製品に出現するとは限らないので, あまり重要視はしなかつた。

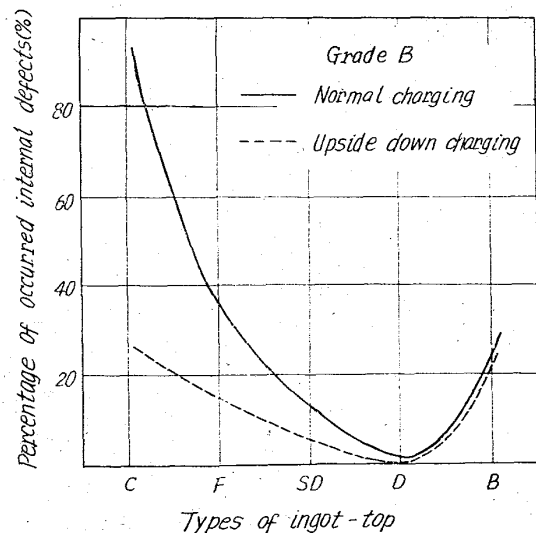
2.3.3 脱酸度および装入法

製品パイプについて脱酸度および装入法別に比較した結果を Fig. 1, Fig. 2 に示す。脱酸度としてはセミキルド鋼塊の頭部形状と取鍋 [Si]% を採用した。

Fig. 1, Fig. 2 から脱酸度については, これが過多になつても不足になつても製品パイプ発生率が増加することが示され, また装入法では倒立材の製品パイプ発生率が少ないことが示される。

2.3.4 鋼塊の均熱度

均熱炉の形式によつて炉内の温度分布, および燃焼ガスの流れに差異があり, これが鋼塊の均熱度およびスケール生成量に重大な影響を与えるといわれているが, 当所の試験結果でも均熱炉内に温度差がある場合, 装入法によつて鋼塊の均熱度に差異があることがわかつたのでこの結果を次に示す。



Types of ingot-top.
 C : Concave. D : Dome.
 F : Flat. B : Bleed.
 SD : Slightly dome.

Fig. 1. Relation between types of ingot-top and internal defects.

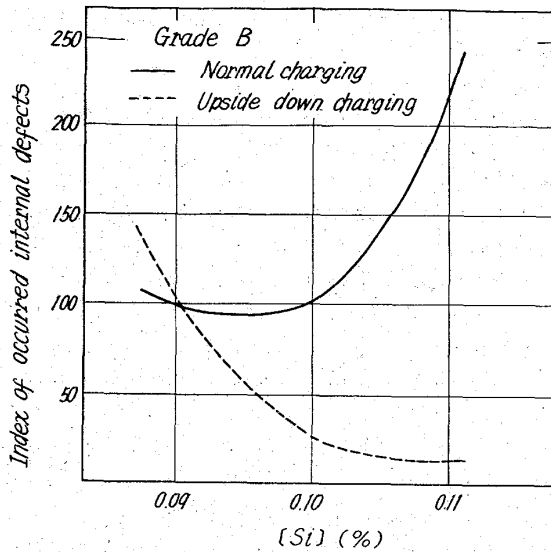


Fig. 2. Relation between [Si] and occurred internal defects.

i) 炉内天井部側の温度が高い均熱炉

下広鋼塊を正立装入すると鋼塊頭部 (炉内天井部側) が過熱され鋼塊底部 (炉床部側) との温度差が大になるが, 倒立装入するとこのような温度差が少なくなり均熱度が向上する

ii) 炉床部側の温度が高い均熱炉

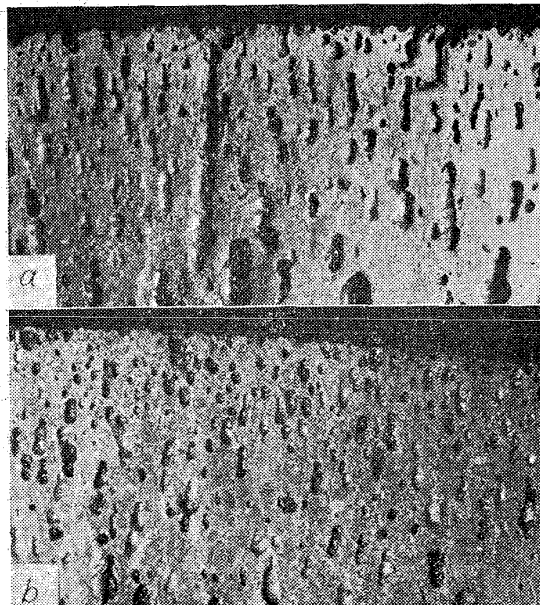
下広鋼塊を倒立装入すると鋼塊頭部 (炉床部側) が過熱され鋼塊底部 (炉内天井部側) との温度差が大になるが, 正立装入するとこのような温度差が少なくなり均熱度が向上する.

2.3.5 鋼塊頭部切断調査

鋼塊頭部を切断調査した結果を Photo. 1 に示す.

3. 実際作業への適用

工場試験結果から倒立装入の効果が認められた鋼種に



a) Normal charge. b) Upside down charge.
Photo. 1. Macrostructure of ingot.

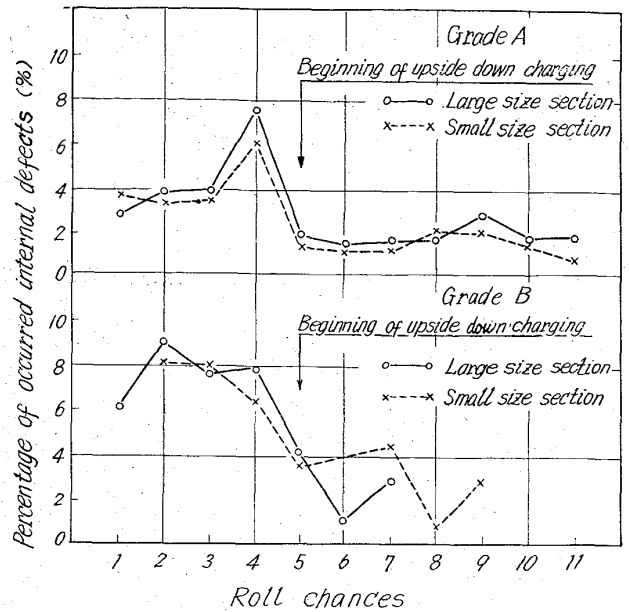


Fig. 3. Changes of occurred internal defects.

については倒立装入を実際作業として行なうことにした。この結果製品パイプの発生率が減少したので推移を Fig. 3 に示す。

4. 考 察

4.1 倒立装入の効果について

倒立装入がパイプに起因した疵の出現防止に効果のある理由としては次のようなことがあげられる。

4.1.1 鋼塊頭部の酸化防止

正立鋼塊と倒立鋼塊を切断した調査結果では次のような点が明らかにされた。

i) 鋼塊天井部気泡

正立鋼塊では鋼塊天井部気泡が外気中に露出されるが倒立鋼塊ではこの露出程度が少ない。

ii) 脱炭層

正立鋼塊では鋼塊頭皮直下部が, ほとんど全体にわたって脱炭され, 外気に通ずる気泡周辺には無数の FeO が存在するが, 倒立鋼塊ではこの脱炭程度が少ない。このように倒立装入によつて, 鋼塊頭部が均熱炉炉床のコーブリーズの中に没入することによつて, 酸化程度が少なくなるため鋼塊内のパイプおよびパイプ性気泡の内面酸化が防止され圧着性が向上するものと思われる。

4.1.2 溶融スケールまたはスカムの流入防止

ミセキルド鋼の頭部スカムの融点は 1300°C 前後と考えられるので, 正立装入の場合にはスカムが鋼塊パイプ内に流入する可能性がある。またスケールとスカムが共存すれば融点はさらに低くなり流入しやすくなると思われる。したがつて倒立装入を行えば鋼塊パイプ内面の汚染が防止され, 圧着性が向上するものと思われる。

4.2 倒立装入実施の条件

4.2.1 脱酸度

セミキルド鋼は品質上の要請から材質を向上させるために脱酸度を強くする場合があるが, 倒立装入はこのような場合に効果が大きい。また脱酸度が強い鋼種ではなくてもなんらかの理由によつて脱酸度が強くなった場合も同様に効果が大きい。

4.2.2 品 種

品種によつてパイプ発生率の高いものと低いものがあるが、倒立装入はパイプ発生率が高い品種に特に効果が認められる。(パイプ発生率の高い品種は、一般に脱酸度が強いまたは鋼塊から製品への鍛錬比が小さいかのどちらかである。

4.2.3 倒立装入材の適正脱酸度

試験結果から脱酸度が弱い場合に倒立装入を行なつてもパイプは減少しないので、倒立材の適正脱酸度は一般に正立材よりも強くしたほうがよいようである。倒立材の脱酸度を強くすることは脱酸不足によつて鋼片または製品に出現する表面疵を減少させるという点からも好ましいと思われる。

4.2.4 均熱炉形式

倒立鋼塊の頭部の酸化防止という点からは炉床にコークブリーズを散布しない炉とか、炉床の温度が天井より高い炉は好ましくないと思われる。しかしながらこれらの炉でも倒立装入によりスカムまたはスケールのパイプ内流下防止の点からは効果があると思われる。

4.3 倒立装入を実施する場合の作業的問題

倒立装入を実施する場合の最大の問題点はトラックタイムの延長することである。品質上、倒立装入を行なう場合の鋼塊の凝固程度は正立装入を行なう場合よりも進行しているのが望ましいので、トラックタイムが延長するわけである。この場合の鋼塊倒立は製鋼、分塊のどちらでも可能であるが、トラックタイムを延長させないためには分塊で行なうのが望ましい。

5. 結 言

セミキルド鋼塊の内部欠陥が鋼片または製品に出現するのを防止するため均熱炉において鋼塊の倒立装入を実施した結果次のような結論が得られた。

- 1. 工場試験を実施し倒立装入を行なえば鋼片または製品パイプが減少する鋼種があることがわかった。
- 2. 効果のある鋼種について実際作業に倒立装入を適用した結果、製品パイプ発生は著しく減少した。
- 3. 倒立装入の効果、倒立装入の実施条件、作業上の問題点について考察を加えた。

(125) 大型鍛造用鋼塊の凝固ならびに偏析に関する考察

(丸型鋼塊の金型部の凝固について—I)

三菱製鋼, 長崎製鋼所

田代 晃一・芳賀三千億・轟木 透

Study on the Solidification and Segregation of Large Steel Ingots for Forging. (On the solidification of chilled parts of round ingots—I)

Koichi TOSHIRO, Michio HAGA and Tōru TODOROKI.

1. 結 言

鋼塊の偏析を解明するに当つて、これと密接に関連する鋼塊の凝固状態を十分に把握することが必要であることは論を俟たない。この意味でまず鋼塊を金型部および押湯部(断熱部)に大別しこれらの凝固について調査を行ないその結果を鋼塊の偏析と関連させて考察して行く

こととした。まず第1報としては鋼塊本体すなわち金型部の凝固に関し考えてみることにする。鋼塊の凝固に関しては今日までかなり多数の研究が発表されているがこれらの研究は主として鋼塊の凝固完了時間を主体に取扱つており、凝固過程における凝固殻の生成状況に関しては殆んど触れていない。著者らは大型鋼塊に発生する内部欠陥特に逆V, V偏析などの欠陥が凝固先端の凝固速度と関連があるのではなからうか、との見解よりまず手始めとして大型鍛造用鋼塊について Bar. Test 法, あるいは I. M. MACKENZIE¹⁾が行なつた方法による鑄型の温度分布の測定, 更に接触型温度計あるいは光高温計による凝固過程中的鋼塊表面温度の測定などの実測を行なうと共に、河合ら²⁾により考案された凝固式を一部補正して新たに凝固式を誘導し実測値と結合して横凝固, 縦凝固の実験式を求め, 2, 3 の考察を行なつた。

2. 凝固式の誘導

鋼塊の凝固に関してはその形状によりいろいろ異なる凝固式が与えられるはずであるが、ここでは鍛造用鋼塊を主体として考え、底部の定盤のみにより行われる縦方向の凝固(いわゆる縦凝固とは異なる)と、鑄型への伝熱を主体として行われる横方向の凝固(横凝固)の二つに分けて考えることにする。もちろん、鍛造用鋼塊があるので横凝固は円筒と考え計算を行なうことにする。

2.1 横凝固式

今鋼塊形状を半径Rの無限円筒として熱の移行は水平方向のみと考え、溶鋼の過熱, 過冷を無視した場合は、任意時間における凝固厚さδを有する凝固中の鋼塊において、更に dδの厚さが凝固する際は、凝固熱およびδ部分の含熱量変化が鑄型を通して外部へ放出されることになる。この状態において凝固層 dδの凝固熱を dQ₁とすれば

dQ₁ = 1.07 γ_L · 2π (R - δ) · A · l · dδ (1)

ただし γ_L: 溶鋼の比重, A: 凝固の潜熱, l: 円筒の任意長さ, 1.07 γ_L: 凝固点における固相の比重 = γ_S, R: 鋼塊の半径。

次に凝固殻δ内に含まれる含熱量も凝固殻の厚みと共に変化し、その一部は外壁を通して鑄型に放出されることになるが、この項を計算に入れることは極めて式を難解にするのでここでは一応無視して計算を進めることにする。鋼塊の凝固過程においては凝固速度が極めて早い表層部および中心部の凝固時を除外すれば熱伝導の速度に比べ凝固殻の厚さδはそれ程急激に変化するものではないからこの過程ではδを通じての放熱は定常流に近いと考えてよからう。一方肉厚管の定常流の伝熱方程式として次式が知られている。

dQ = (K · ΔT · 2π · l) / ln R/R - δ dt (1a)

ただし dQ; δ を通して dt 時間に流れる熱量, ΔT = T₁ - T₂, T₁; 凝固点, T₂; 表面温度(一定), k; 凝固層の平均熱伝導率また dQ は δ があまり厚くない間は近似的に次式で表わされる

dQ' = (K · ΔT · 2π · l) / δ { R + (R - δ) / 2 } dt (1b)

したがつて dQ' = dQ₁ であるべきなので次式が成立する

dt = 2.14 × (A · γ_L / K · ΔT) × (δ(R - δ) / 2R - δ) dδ