

る。BF 型では B₂, A₄, A₂, B₄ の順に歩留りが高い。これは後述するように分塊におけるパイプ発生率および押湯線の発生頻度により説明される。BS 型に使用の B₄ は著しく不良であるが、スリーブ裏側への溶鋼のさし込みによる切捨てが大きく影響している。押湯線はパイプ(押湯部凹み尖端)よりも下方にあらわれ押湯線で切り捨てられた場合、歩留り低下の大きな原因となる。

4.1 パイプ発生率

分塊切捨て時の押湯部凹み尖端、すなわちパイプによる切捨て発生率の比較を Fig. 3 に示す。

BF 鑄型のパイプ発生率は B₂, B₄, A₄ の順に良好で A₂ が最も悪い。

4.2 スラブ押湯線発生状況

分塊剪断時の観察結果から押湯線および押湯線による切捨ての発生状況を Fig. 4 に示す。

前述のように押湯線で切り捨てられた場合、歩留り低下の大きな原因となる。BS 型は BF 型に比し押湯線発生頻度および押湯線切捨て頻度とも著しく大きい。BF 型では B スリーブがいずれも不良であるが、これは 4 面では分塊でのスラブ側面に押湯線の発生がみられるためである。また B₂ は押湯線発生頻度は高いが、その程度が軽いため切捨て頻度は約 1/3 である。

5. 品質への影響

5.1 押湯の偏析

押湯部の偏析状態を調査するため、スラブトップクロップより試料を採取して分析した結果、押湯部凹み尖端まで偏析は認められず、良塊片として採取しうることを確認した。1 例として Al の分析値を Fig. 5 に示す。

スリーブ別、2 面、4 面での差は認められない。

5.2 最終成品における品質

最終成品における品質としては、レンガ押湯法と比較した場合、当然のことながら内部欠陥は著しく減少しているが、各スリーブ、2 面、4 面間の差は認められない。

6. 原価について

押湯に要する費用としては A₂ が最も安く、B₂, A₄ が同等、B₄ が最も高いがスラブにおける原価を比較すると、前述の分塊歩留りから算定した場合、BF 型の A₄, B₂ が同等、次いで A₂ となるが BS 型はいずれも高くなっている。

7. 結 言

1) 分塊歩留りはストレート内面をもつ BF 型が高く、保温剤別では発熱性 2 面スリーブ、断熱性 4 面スリーブ、断熱性 2 面スリーブ、発熱性 4 面スリーブの順となる。この理由は押湯線発生状況、スラブ頭部切捨ての影響が大きい。

2) 押湯部のスラブ成分偏析については、問題なく、押湯部まで良塊片として採取し得ることを確認した。スリーブ別、2 面、4 面別では差はない。またこの鋼種については、このことから歩留り向上のためには押湯率の問

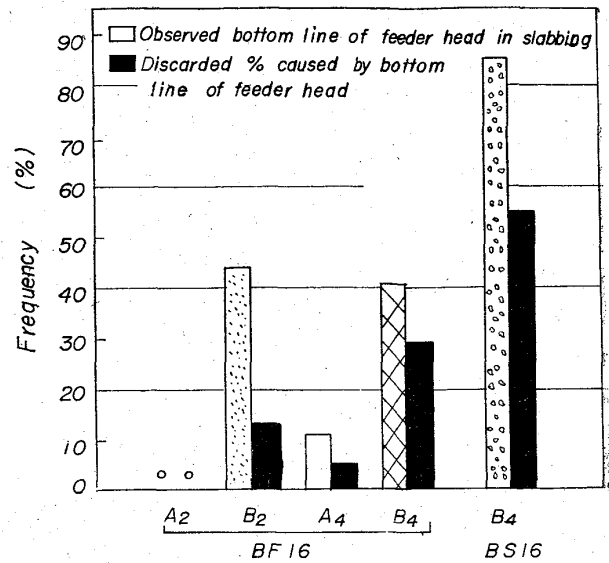


Fig. 4. Bottom line of feeder head in slabbing and its effect on discard.

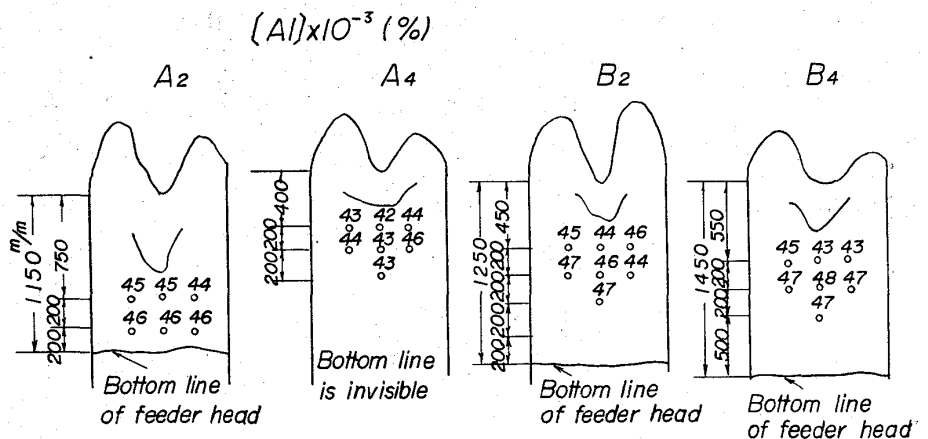


Fig. 5. Analysis of [Al] in top crop.

題よりも押湯線の発生を無くすことを重視すべきと考える。

3) 原価面からも BF 型発熱性 2 面スリーブと断熱性 4 面スリーブが有利である。

(68) 鋼塊内部性状と鑄型テーパーの関係

トピー工業、豊橋製造所 野口 祐 正

○石原弘二・挾間 保・須田興世

Relation between Internal Quality of Ingots and Mold Dimensions.

Hiromasa NOGUCHI, Kōji ISHIHARA, Tamotsu HAZAMA and Akiyo SUDA.

1. 結 言

鋼塊内部の健全性には、鋼の化学組成、鑄造条件および鑄型形状などが影響し、種々変化することはよく知られた事実である。しかし研究の多くは、上広型に関するものであり、特に最近発達した発熱保温剤を押湯に使用

した大広型鋼塊の内部性状と鋳型テーパの関連を論じた報告はないようである。筆者らはこの問題を解明する目的で、テーパの異なる6本の鋼塊内部性状を調査し、同時に凝固速度の測定をおこない、両者の関係を検討した。

2. 試験方法

高径比および鋼塊重量をできるかぎり一定にし、テーパのみを変えた6種類の鋳型に、30t電気弧光炉で溶製したキャタピラ材を上注ぎした。bar-test法により縦凝固速度を測定したのち、鋼塊縦断面のマクロ組織、サルファ・プリントおよび各成分の偏析を調査した。鋳込条件および鋳型寸法をTable 1に示す。なお鋼塊の押湯にはF社製四面発熱スリーブを使用した。定盤は黒鉛を用いた。

3. 試験結果および考察

鋼塊縦断面のマクロ組織をPhoto. 1に示す。軸心部のV偏析はすべての鋼塊に観察されたが、発生位置の下端はテーパの小さいほど低い。すなわち、鋼塊底部からV偏析の下端までの高さはA型 400, C型 310, F型 230mmであり、底部の巾の1/2の値に近くなる。これらの高さから発生するV偏析は、位置を高くすると偏析線にそつてピンホールをともなうようになり、軸心部にloose-structureを形成する。その発生位置もV偏析と同じ傾向である。例えばA型 600に対し、F型は280mmである。

パイプの発生は下広型のEおよびFに発生した。D型は下広型であるがテーパが小さいため、軸心上の断続的な収縮孔にとどまつて、パイプの発生にはいたらなかった。

逆V偏析は上広型の3鋼塊およびテーパ小さい下広型のD型に発生した。

3.1 偏析

Fig. 1に示した鋼塊軸心部のチェック分析結果からわかるように、A, BおよびC型の上広型には、底部沈殿晶域の負偏析が比較的明瞭に認められ、鋼塊の高さと、ともに分析値が高くなる。濃厚偏析は押湯部分に存在する。一方下広型では負偏析は顕著でなく、パイプ直上のbridgeと押湯に濃厚偏析が認められる。

3.2 縦凝固曲線

bar-test法によ

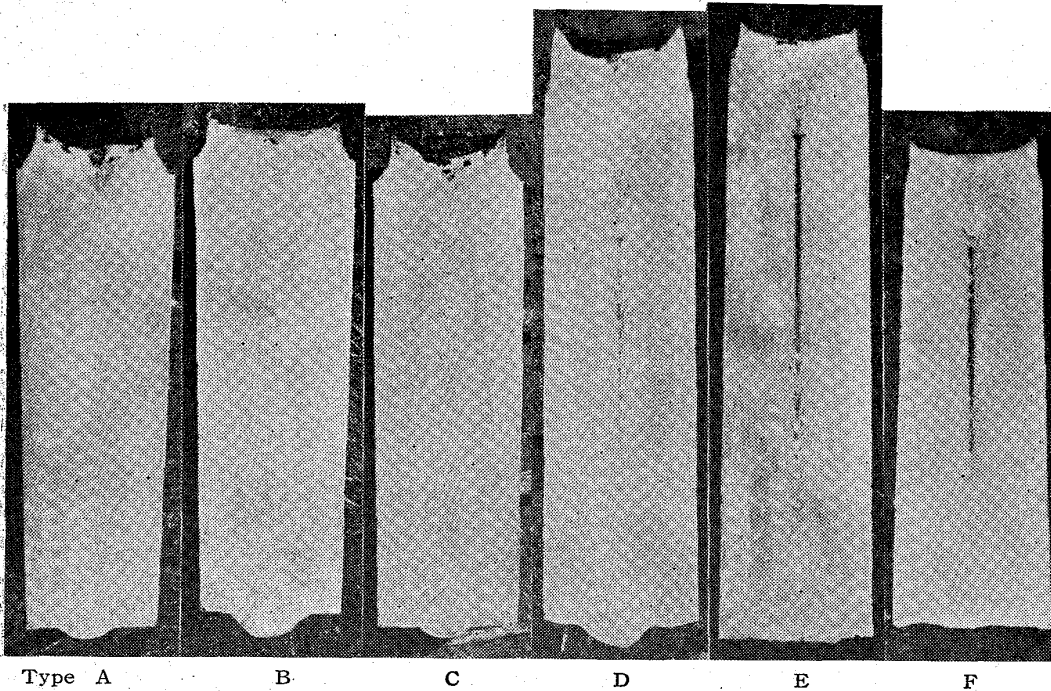


Photo. 1. Macrostructure of longitudinal cross section of test ingots.

Table 1. Production data and mold dimensions.

Type	A		C			D	B		E	F
Heat No.	2-6205					2-5446				
Chemical compositions (%)	C 0.29	Si 0.27	Mn 1.25	P 0.014	S 0.019	C 0.34	Si 0.25	Mn 1.29	P 0.018	S 0.013
Tapping temp. (°C)	1600*1)					1600*1)				
Teeming temp. (°C)	1525*2)					1565*2)				
Teeming time (min)	2'-36''	2'-30''	*3)			2'-00''	2'-15''	2'-00''		
Weight of ingot (kg)	1550	1750	1710			1750	1960	1750		
Top square (mm)	446 φ	430 φ	415 φ			450 φ	390 φ	380 φ		
Bottom square (mm)	362 φ	400 φ	440 φ			380 φ	430 φ	450 φ		
Height (mm)	1275	1300	1650			1300	1800	1300		
Taper*4) (%)	66	23	-15			54	-23	-54		
H/D	3.2	3.1	3.9			3.2	4.4	3.2		

*1) Immersion pyrometer

*2) Optical pyrometer

*3) Not measured

*4) Plus: Big-end-up

Minus: Big-end-down

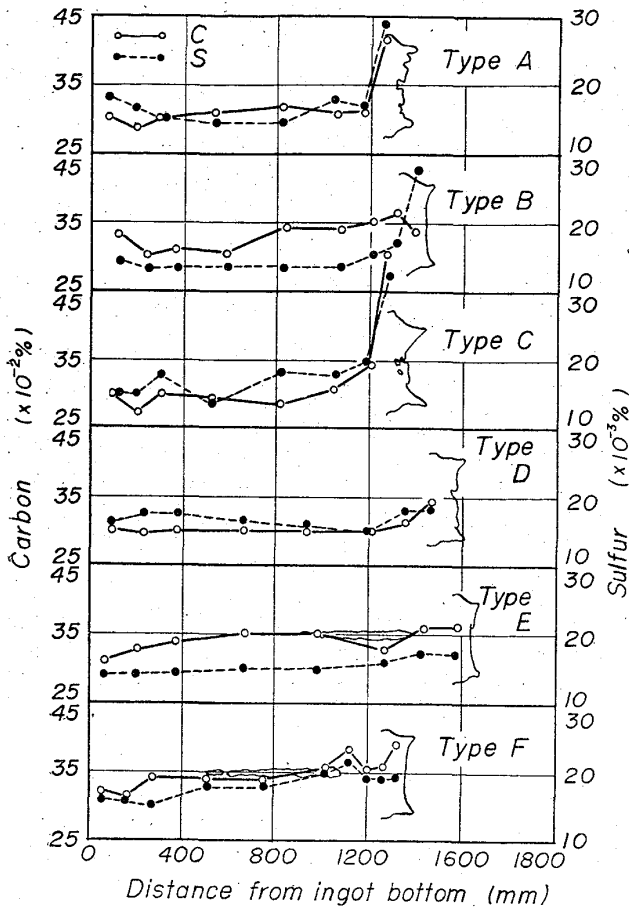


Fig. 1. Distribution of C and S on longitudinal center.

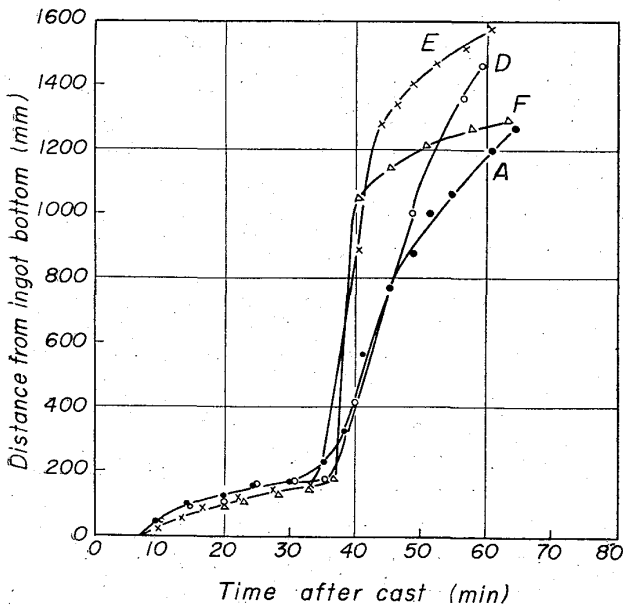


Fig. 2. Vertical solidification curves of ingots.

り測定した鋼塊の縦凝固曲線を Fig. 2 に示す。凝固初期の過程では、凝固高さ D と 铸込み後の時間 t の関係は $D = K\sqrt{t} - C$ なる放物線を描き、鋼塊による差はほとんどない。しかし、30~37min 後に凝固高さが急激に増加し始め、以後直線的に凝固が進む。横凝固の加速作用

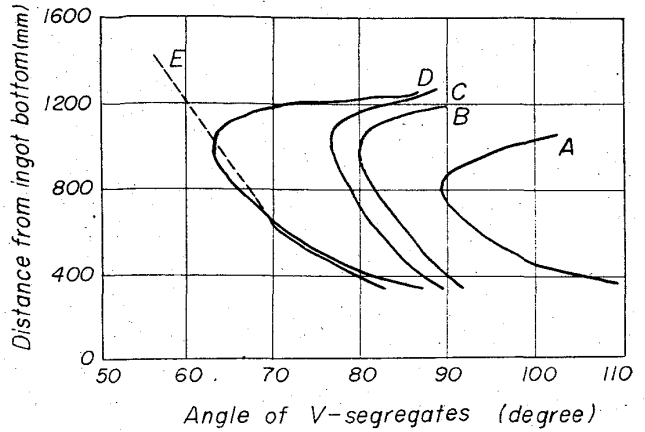


Fig. 3. Relation between V-segregates angle and height of ingot.

を受ける凝固中期の直線部における凝固速度は A 型 53, D 型 70, E 型 131, F 型 400mm/min となり、テーパーが小さくなるほど速度が大となる。凝固末期には、押湯の発熱および保温の影響を受け、凝固曲線は再び曲線を描き、凝固を完了する。凝固末期の速度は、A および D 型に比較して負のテーパーが大となる下広型の E および F の方が遅い結果を示した。

3.3 鋼塊組織と凝固曲線の関係

鋼塊内部健全性と縦凝固曲線とは密接な関係がある。Fig. 2 において A 型の凝固曲線は、直線部の傾斜がゆるい。テーパーが大であるため当然であるが、凝固末期の曲線部の高さが約 500mm (高さの 40%) もあることは、A 型のような上広型では、底部から凝固が進行しそれにとともに生ずる収縮に対して効果的な溶鋼の補給が行なわれていることを意味する。したがって、押湯は本来の目的を達し、鋼塊内部の健全性を高めつつ凝固が進行し、押湯部分にのみ濃厚偏析帯を形成する。

一方、負のテーパーの大きい E および F 型は、凝固中期の直線部分が垂直に近い傾斜であるから、この高さの範囲においては横方向から凝固がほとんど同時に完了するものと推定できる。したがって、Liquid+Solid 層の前面が鋼塊の中心に達した後、残された溶鋼の凝固収縮に対応した容積の収縮パイプが発生する。凝固前面が中心に達したとき、押湯の発熱保温の影響限界の高さに bridge ができ、bridge の下部と押湯部分に濃厚偏析が生じるものと考えられる。パイプの発生をみた E および F 型のいずれにおいても、凝固が中期から末期に移行する高さ と bridge 発生位置とはほぼ高さが一致する。

D 型は下広型であるがテーパーが比較的小さいためか顕著な bridge 現象はみられない。本試験の結果から上注ぎ法でパイプの発生がなく、かつ鋼塊本体に濃厚偏析帯の生じない限界の鑄型テーパーは -15% であることがわかった。しかし、上注ぎ法に対して下注ぎ法は、一般に注入速度が遅いから、凝固曲線はテーパーが大となった直線部分の傾斜がゆるくなった曲線を描くはずであり、パイプの発生をみない限界のテーパーは若干マイナス側に移行するものと推察される。

発熱保温剤の発熱力および保温力を増すことは、凝固末期の曲線部のしめる高さを大きくすると同時に凝固速度を遅くするから、テーパーが -15% 以上の鋼塊に対

しては、軸心部の健全性を高くする効果が期待できる。一方、-15%以下の鋼塊に対しては、bridge 発生位置を低くするにすぎず効果はあまり望めないものと考えられる。

Fig. 3はV偏析の角度と鋼塊の高さとの関係を示す。収縮パイプの生じないA, B, CおよびD型の曲線は、V偏析の下端から位置が高くなるにしたがつて、角度が小さくなり、ある高さで最も鋭角を呈して再び角度を大きくする。この角度の最小値を示す高さで凝固曲線において中期から末期に移行する高さとは一致する。それゆえ、V偏析の角度を示すC曲線の下部は凝固中期の直線部分に、上部は末期の曲線部分に相当する。V偏析の角度は、鋭角であるほど収縮孔をともしない、鋭角であるほど健全であることが、マクロ組織の観察からいえる。また、この角度は鑄型のテーパーとH/Dに左右されると思われるが、本試験ではテーパーの小なるほど鋭角を呈することがFig. 3からわかる。

4. 結 言

- 1) 発熱保温剤を用いた1.5ないし2t鋼塊の縦凝固曲線は、凝固初期の $D = K\sqrt{t} - C$ なる放物線部分、横凝固の加速を受ける直線部分、そして押湯の影響を受ける曲線部、以上3段階に分けられる。
- 2) テーパーが大になるほど直線部分の傾斜がゆるくなり組織は健全性を増す。
- 3) 上注ぎ法ではテーパーが-15% (下広型)付近に収縮パイプを発生しない限度がある。
- 4) 収縮パイプの発生しない鋼塊は成分偏析も良好であり、濃厚偏析帯は押湯内にもみ存在する。一方、パイプの発生した鋼塊は鋼塊本体と押湯の2カ所に濃厚偏析が生じる。

文 献

- 1) 下田, 荒木田: 鉄と鋼, 51 (1965) 5, p. 935
- 2) J. W. SPRETNAK: Trans. Amer. Soc. Metals, 39 (1947), p. 569
- 3) 守川, 小野寺, 荒木田: 鉄と鋼, 44 (1958), p. 9

(69) 鋼塊の押湯の凝固について

(大型鍛造用鋼塊の凝固ならびに偏析に関する考察—II)

三菱製鋼, 長崎製鋼所

田代晃一・芳賀三千億・○轟木 透

On the Solidification of Feeder Head of Ingot.

(Study on the solidification and segregation of large steel ingot for forging—II)

Kōichi TASHIRO, Michio HAGA and Tōru TODOROKI.

1. 緒 言

鋼塊の偏析を考えるに当たつてまず第1報にて鋼塊本体すなわち金型部の凝固と偏析の関係について、1, 2の考察を行つたが、本報告ではさらに押湯の凝固について考えを進めて行くこととする。これは金型部の凝固と同様に押湯部の凝固現象を十分に把握することは、鋼塊

全般の凝固とこれに伴う偏析について、適正な判断を下すに役立つと考えられるからである。この際まづ金型部より分離して砂型 (あるいは断熱耐火材) 中の鋼の凝固現象として独立して考えて行くこととする。

2. 砂型中の鋼の凝固式の誘導

押湯部の凝固を一応砂型内の凝固と考えて取り扱えば、鋼鑄物関係でかなりの凝固に関するデータが得られており、計算を行なうのに便利である。

前報の金型の凝固に際しては、凝固中の鋼塊表面温度、鑄型温度の実測について述べたが、砂型の温度測定に関しては砂が熱伝導度が低く、凝固表面は鋼の凝固温度に近い高温に長時間曝されるために、長時間にわたり正しい測温を行なうことはかなりの困難と誤差が伴うことは論をまたないが、これに関しては実測例¹⁾もあり、また前述の鋼塊表面が長時間かなり高い温度に保たれることが確められている。

一般に砂型に鑄込まれた鑄鋼の熱放出に関しては、ABCOWER²⁾により無限平板の凝固問題として解かれているが、またFOURIERの式を用いても誘導が可能である。これらは次の(3), (4)式の形で与えられ良く実験値とも一致することが知られている。

$W_{(x=0)} = K_s \cdot \theta_u / h_s \sqrt{\pi t} \dots\dots\dots (3)$

$Q = 2k_s \cdot \theta_u \cdot \sqrt{t} / h_s \sqrt{\pi} \dots\dots\dots (4)$

$\theta_u = \theta_B - \theta_s$

ただし $W_{(x=0)}$: 鑄物と砂の境界面における heat flux

Q: 鑄物と砂の境界面の単位面積当たり時間 t までに放出される熱量

K_s : 砂の熱伝導度

h_s^2 : 砂の温度伝導度

θ_B : 鑄物と砂の境界面温度

θ_s : 初期砂型の温度

ここで θ_B は前述のごとく一定と仮定したが、これは計算によつても確めることができる。すなわち溶鋼の過熱および凝固殻内外の温度差が少ないからこの部分の含熱量変化を無視すると、外部へ移行する熱源は凝固熱のみとなり(3), (4)式を利用して θ_B は変数 t, δ を含まない2次式として次のごとく表わし得、凝固中は一定値となることがわかる。(計算省略)

$(\theta_B - \theta_s)^2 - (\theta_m - \theta_B) \cdot K \cdot A \cdot \rho \cdot h_s^2 \cdot \pi / 2 K_s^2 = 0$

ただし θ_m : 溶鋼の凝固温度

K: 凝固鋼の凝固点近傍の熱伝導度

A: 鋼の凝固熱

ρ : 比重

以上より砂型平面の凝固に関しては、金型の場合と同様に凝固殻の表面温度を一定と考えて差し支えないことが明らかになり、金型における無限平板の凝固式(2a), (2b)が係数を変えることにより応用できる。また円柱の場合も平板と同様に、凝固表面温度はほぼ一定となることが示されているので、前報の金型の凝固式(1c), (1d)が利用できる。

さらに砂型では凝固殻内外の温度差が少ないので含熱量変化の項は無視しても大過なく、砂型における係数を求めるため鋼鑄物の凝固測定を行なうと同時に、特に2t砂型鋼塊についても凝固の測定を行なうと共に、鋼塊を縦断し偏析の調査を行つた。