

文 献

- 1) 森, 松尾, 縄田, 田中, 北条: 鉄と鋼, 50 (1964) 11, p. 1754

【質問】 八幡技研 谷沢 清人

1) 横倒しリムド鋼塊の熱延板の伸びの劣化は, 偏析などの点から, どのように解釈されるか.

2) リムド鋼塊では, 横倒しによる残溶鋼の搅拌効果が, セミキルド鋼塊ほど著しく現われない理由は, リムド鋼塊のほうが残溶鋼にサスペンドしている浮遊結晶片が多く, mushy zone の範囲が広いためと筆者らは考えているが, 小川氏の解釈は?

【回答】

1) 伸びの劣化と偏析とは大いに関係があると思う. 本文図3からわかるように, 正立鋼塊に比べて横倒し鋼塊の伸びの劣化が著しいのは, コイル内の試験片位置にして鋼塊頭部から大体 10~60% の範囲であり, この範囲は横倒し鋼塊のSプリントや本文図2の偏析率からわかるように, 中心軸からややずれた位置に濃厚偏析線の存在する範囲と一致している. このことから, 横倒しリムド鋼塊の熱延板での鋼塊頭部から中央部にかけての伸び劣化の原因はこの濃厚偏析線にあると考えられる.

2) セミキルド鋼塊の場合には, 横倒しにより mushy zone が頭部側へ流動しているのが, そのSプリントで明らかに認められるが, リムド鋼塊の場合には, そのような mushy zone の流動の形跡は認められない. リムド鋼塊内の mushy zone がセミキルド鋼塊内のものと同程度の流動性を持つていすれば, mushy zone と残溶鋼との両範囲が共存する限り, mushy zone の範囲の大小に関係なく, リムド鋼塊内でも横倒しによる mushy zone の流動が起こり, その形跡がSプリントにも現われるはずである. それにもかかわらず, 実際にはこのような現象が認められないということは, mushy zone の流動性が悪いことか, または未凝固部分の全範囲が mushy zone によつて占められていることかのいずれかを示していると考えられる. しかし, 横倒しの時点ですでに未凝固部分の全範囲が mushy zone によつて占められているとは考え難いので, 結局, mushy zone の流動性が何らかの理由によつて悪いと考えざるをえない. すなわち, リムド鋼塊で横倒しによる残溶鋼の搅拌効果が少ないのは, mushy zone の流動性が悪いために横倒しによつても mushy zone がほとんど流動しないことによると考えられる.

【座長】 その理由は何か.

【小川】 リムド鋼の内圧が高いためではないかと考えているが, まだよくわかっていない.

講演: 超大型リムド鋼塊の偏析について

住金中研 荒木泰治・菅沢清志
池田隆果・丸川雄浄

【質問】 鋼管技研 大久保益太・榊井 明

HAYES らの式を用いて最高偏析率を定量的に取り扱っているが, ここで重要なのは濃厚偏析部の重量化 α ではないかと考えられる.

鋼塊形状, 寸法などにより変化するものと考えられるがこれについてさらに教示頂きたい.

【回答】

私どもが今回示した (2) 式は偏析を完全に定量化しているとは考えていない. それはコア部の凝固において取鍋値をとるということが理論的なものでなく, 特定の鋼塊 (基礎共研用 13 t 鋼塊 6 本) についての経験に基づいたものであり, α の値も種々の鋼塊について判明しているわけではない. ここでは特に分配係数が偏析率に影響するとすればどの程度であるかを知りたかつた.

今後とも上記の不明確な因子については検討を行ない, すべての条件下で用いられるように関数化を考えてゆきたいと思う. いまご質問の α と鋼塊形状との関係について私どもの判明している結果¹⁾から申し上げると, 同一チャージ内で偏平度とトラックタイムを変化した場合, Table 1 に示すように, トラックタイムの短い場合に偏平度が小の場合 α の値が大きくなり, 偏平度の小さい鋼塊でトラックタイムの短い場合に α が大きくなっている. すなわち, 内部の凝固速度が遅れるような条件下では最終凝固範囲 α が増大すると考えられる. 33 t 鋼塊ではまだデータが少ないので数値的には示せないが本文でのべたように α が大きくなる傾向にある.

Table 1. Effect of ingot dimension and track time on the volume ratio of segregated zone (α %) of 17 t ingots.

Track time	Short			Long		
	A	B	C	A	B	C
Heat	A	B	C	A	B	C
Flatness (Thickness)	α % (Average)			α % (Average)		
mm 1.73 (825)	2.7	3.2	3.0	2.4	2.7	2.7
	(3.0)			(2.6)		
2.38 (705)	1.9	2.2	3.0	2.2	2.7	2.7
	(2.4)			(2.5)		

Method of determination of max. segregation zone :

In the longitudinal direction, range of higher than 100% segregation; in the transverse direction, inner core of 30% of total thickness.

Track time: Short; 1°50'~2°30'

Long; 3°45'~3°55'

文 献

- 1) 波木, 荒木: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 452

【質問】 富士室蘭 伊藤 幸良

S の偏析率が取鍋 S 値の増加につれて上昇する現象は多くの研究者によつて認められているが, その原因については十分な説明がなされていない. 今回荒木氏らはこの一原因として S 濃度によつて平衡分配係数が変わることをあげているが, 私も同意見である.

すなわち, Fe-S 系では S は RAULT の法則から負に偏位し, Fe-S 系状態図における Fe の液相線が concave になっており, S 濃度が大きいほど平衡分配係数が小さ

くなり、したがって偏析係数は増大する。

ここでリムド鋼塊の偏析でSとともに問題となるPについて考えると、Fe-P系ではPはRAOULTの法則から正に偏位し状態図の液相線は若干convexとなっており、P濃度が高いほど平衡分配係数は大きくなり、偏析係数は低下する傾向にある。したがって、Pについては溶鋼のP濃度が高いほどPの偏析は減少するか、少なくとも増大はしないと考えられる。荒木氏のご研究で取鍋PとP偏析率との関係についてのデータがあればお知らせいただきたい。

【回答】

今回示した試験鋼塊で取鍋Pに対してP偏析率を示すとFig. 1のようになる。この図からも相関関係は明らかでないがこの外に取鍋Pが0.122%の鋼塊を縦断した結果、最高偏析率で157%をえている。これらのことから考えてPについては取鍋Pとの関係はほとんどあらわれていないといえる。Sの場合は液相線が他元素の場合に比して非常に勾配がゆるやかであるので少し曲率があれば狭い濃度範囲でも平衡分配係数が大きく変化する可能性がつよい。

【質問】 富士広畑 浅野 鋼一

1) Fig. 3は最高偏析率と鋼塊重量との関係を示したものであるが、ややデーターがばらついている。この原因として取鍋[S]の相違をあげておられるが、その他に次の2点が考えられる。

(1) リミシングアクション持続時間の相違

(2) 鋼塊重量が同一でも、他の因子、たとえば鋼塊厚みや鋼塊高さが異なるための影響

前者については、リムド鋼偏析機構から考えてみて、大きな影響をおよぼすものと考えられる。後者については、たとえば鋼塊重量が同じでも、高さあるいは断面積が異なる場合は、最高偏析率が異なるという結果を得ている(Fig. 2)。以上のことから、最高偏析率を整理するに当たっては、リム層比率を考慮し、また、他の因子の影響を考えた上での鋼塊重量因子を用いるべきだと思う。同様のことがFig. 3についてもいえる。これらに関してどのようにお考えか。

なお、鋼塊重量が30t以上ではあまり最高偏析率の増加が見られないが、これは濃厚偏析帯が広がるためと考えてよい。

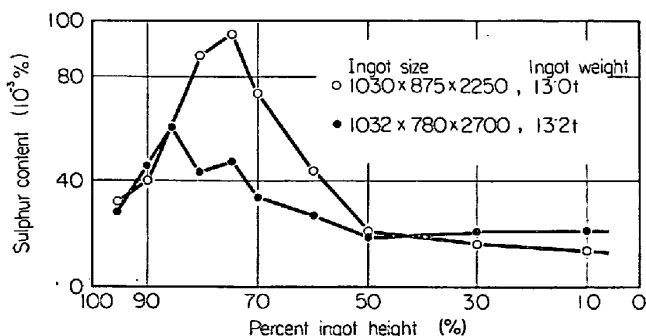


Fig. 2. Comparison of segregation patterns for ingots having the same weight but different heights ([S] in ladle=0.018%)

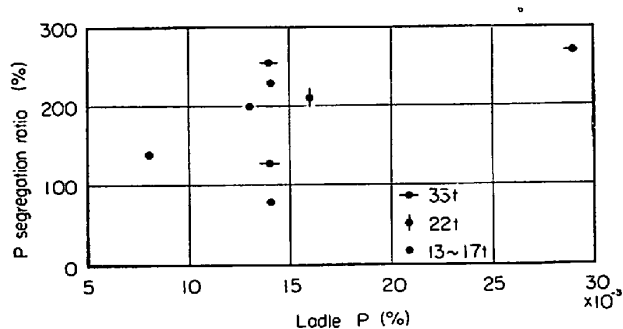


Fig. 3. Relation between ladle P and phosphorus segregation.

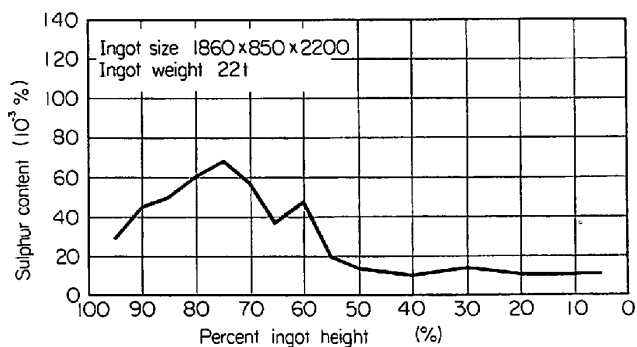


Fig. 4. Segregation of sulphur in a 22t ingot. ([S] in ladle=0.017%)

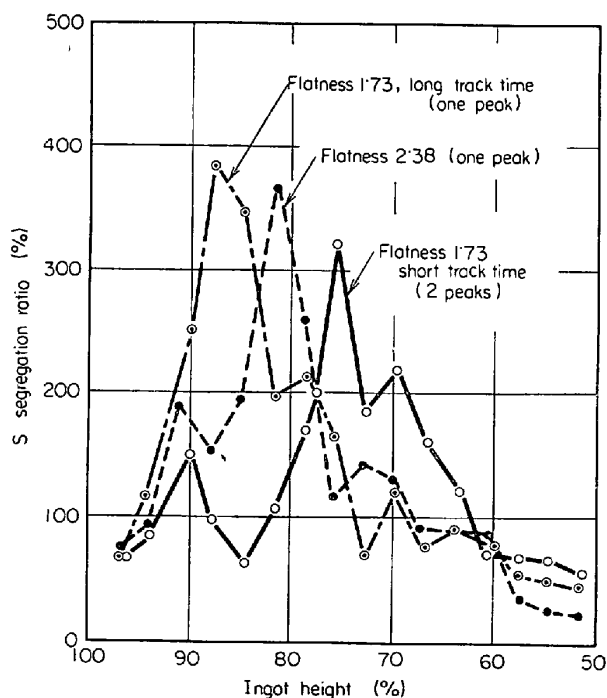


Fig. 5. Sulphur distribution pattern of 17t ingots.

2) Fig. 3によると、22tおよび33t鋼塊ともに偏析ピークは1カ所に現われているが、当所の結果では鋼塊重量が増すと偏析ピークは2カ所に現われる傾向にある。1例として当所22t鋼塊の結果をFig. 4に示す。この相違についてはどのようにお考えか。

【回答】

1) お説のとおりであり、すでに私どももその点について報告を行なっている。ただ今回の報告においては鋼塊高さ、厚さ、重量を大きく異にした鋼塊に焦点をあわせて検討したにすぎない。いま 33 t 鋼塊に目をむけて見ると、3 鋼塊で偏析率に大きな差が生じたわけで、その原因として取鍋 S を指摘せざるをえなかった。最高偏析率は現在不完全な形ながら (2) 式に示したようにリミング時間と関係のある W_s 、鋼塊形状、凝固速度などと関係する α によつても変化し 33 t 鋼塊の偏析があまり高くないのは W_s 、 α が関係しているものと考えて本文中に論じている。

2) 2 山ピークについてはすでに報告したように Fig. 5 のごとく、トラックタイムの短い、偏平度の小さい鋼塊に生じている。今回の試験鋼塊はいずれも冷塊である。そのため同図の 17 t 鋼塊と同じ厚さを持つ私どもの 22 t 鋼塊では、2 山ピークは生じないと考えている。ただ 33 t 鋼塊のように厚みが厚い場合にはトラックタイムの影響は不明であるが、本文中の偏析パターンからみて、2 山というより多山偏析パターンが生じていると見るべきではないだろうか。すなわち鋼塊厚さとトラックタイムのかね合いが 2 山または多山ピーク形成のポイントであると考えている。

文 献

1) 波木、荒木：鉄と鋼，49 (1963)，452

【質問】八幡八幡 谷沢 清人

1) 予講の Fig. 3 において、33 t 鋼塊 3 例のうち 2 例は最高偏析率が 200% 程度であり、最高偏析位置から細いドリルで試料を採取したにしては値が低すぎるように思う。この鋼塊の製造条件および今回の実験のサンプリング法などについてお教えいただきたい。

参考までに、筆者らが当所の加藤・松田ら、一戸・梶岡らのデータを始め、内外の合計約 100 ほどの鋼塊またはスラブの S 濃厚偏析に関するデータを統計的に解析した結果を以下に紹介する。

鋼塊中心軸の S 最大偏析度 M_s は、鋼塊重量が 15 t 程度以上では重量の増加につれて大きくなる傾向は認められず、 M_s が 10 を越えることはまれである。 M_s と各種の要因との間で有意な回帰式はえられなかったが、取鍋 [S] (%) の影響は認められない。 M_s と鋼塊重量との関係を Fig. 6 に示す。鋼塊で調査したものの方がスラブまたはブルームで調査したものより偏析度が大きい、これはサンプリング上の問題であり、スラブなどで調査したものは真の偏析度よりも低い値である可能性がある。

なお、冷延板のセンターシート S 最大偏析度と取鍋 [S] (%) との間には正の相関が認められた。

最大偏析位置については、下記のような重回帰式が得られた。この式による推定値の 95% 信頼限界は $\pm 9.5\%$ 程度である。

$$\text{最大偏析位置(トップからの\%)} = 0.274 \text{鋼塊厚さ(cm)} - 0.0417 \text{鋼塊高さ(cm)} - 6.129 / \text{偏平度} + 8.184$$

最大偏析位置と各要因の偏相関係数は鋼塊厚さ *** > 鋼塊高さ ** > (1/偏平度) * の順である (** 1% 有意, * 5% 有意)。

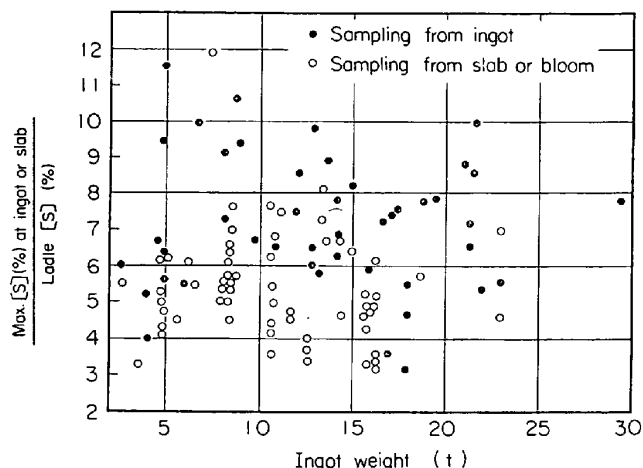


Fig. 6. Relation between [S] segregation and ingot weight.

次に、偏析度が 3 以上の濃度偏析帯の位置については次式が得られた。

偏析度 3 以上の範囲の下端位置 (%)

$$= 0.537 \text{鋼塊厚さ(cm)} - 0.0124 \text{鋼塊高さ(cm)}$$

$$- 3.969 / \text{偏平度} - 8.323$$

この式の推定値の 95% 信頼限界は $\pm 11.5\%$ 程度である。各要因の偏相関係数は鋼塊厚さ *** > (1/偏平度) ** > 鋼塊高さの順であり、実用上は鋼塊厚さのみが影響すると考えてよい (*** 0.5% 有意)。

2) 偏析率が取鍋 [S] によつて変化することに対して、[S] の低下によつて平衡分配係数および実効分配係数が増大する傾向にあるという見解を取っているが、 $S = 0.015 \sim 0.023\%$ という狭い範囲で平衡分配係数が大きく変わるという説明には多少問題があると思う。

このようなことに関する文献例があればご教示いただきたい。また予講の Fig. 4 において取鍋 [S] が 0.012% 以下、あるいは 0.024% 以上ではこの関係はどのようなと推測されるか。

3) S の最高偏析率を予講の (2) 式で説明している。比較的小さな鋼塊では一般にリム層比は大型鋼塊に比べて大きいのではないかとと思うが、実際には小型鋼塊の方が偏析率が小さいことは周知のことである。この点についての見解をおききたい。また濃厚偏析部の重量比 α に影響する要因は何か。

4) 予講の Fig. 6 の鋼塊側面および底面からの凝固速度について、鋼塊厚さの厚い 33 t 鋼塊で底面からの凝固がおくれる理由は何か。また、ここでいう凝固とは mushy zone の存在をどのように扱っているのか。

【回答】

1) ドリル径 15 mm ϕ で試料を採取した。33 t 鋼塊は蓋置時間 24~26 分のオープン型である。まずお示いただいた膨大な調査に対して敬意を表したい。ただえられた結果として偏析率に対して何も要因がえられなかったことは不満ではないであろうか。たとえばとられた要因の変化範囲や分布状態はこの種の解析に重要な影響を与えらると思う。なおセンターシートで取鍋 S との関係があつたということは、やはりそれを要因ととりうる興味ある結果であると思う。

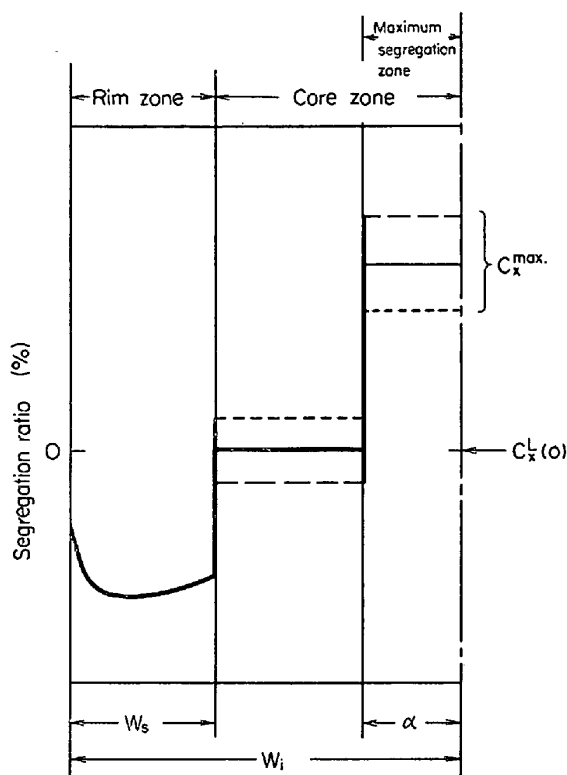


Fig. 7. Segregation model in an ingot.

2) 小鋼塊ではコア部の凝固速度が大きいので凝固鋼の純度が悪くなると考えられる。(2)式に示したものは前述のようにまだ完成されたものでなく、コア部の不純濃度が取鍋値をとるといのは全く理論的でなく、13t鋼塊の経験的なものである。いま私が提案した偏析モデルを図で表わすと Fig. 7 のようになる。すなわちコア部の水平部分では、そこにおける実効分配係数が問題となり、小鋼塊では点線のように上へ上がり、大鋼塊では破線のように下へ下がる。したがって α が同一ならば物質バランスから最高偏析部はそれぞれ下へ下がる場合、上へ上がる場合が生じる。以上のことから凝固条件のいろいろな場合について W_s 、コア水平部分の偏析率、 α 値などを決定することが今後の課題であると考えている。

3) 正確なところはデータが不足なので明らかではないが、最近の基礎共同研究会の神鋼の鋼塊は取鍋 S が0.010~12%で偏析率は最高のもので60%であり、サルファプリントも真白である。この60%の値は今回示した関係のほぼ延長上にある。一方取鍋 S の高い方ではよくわかっていないがFe-S系状態図での包晶点で $K^*=0.015$ であるのでさらに偏析は大となる方向に向かうものと思われる。

4) ここに示した凝固速度は mushy zone も含めたものと考えている。厚い鋼塊では内部の熱含量が大で放熱量が少ないから mushy zone の形成がおくれているものと考えている。

【座長】 Mushy zone については動かない mushy zone と考えているのか。

【荒木】 そうである。

講演：リムド鋼塊凝固におよぼす傾斜凝固ならびに凝固速度の影響*

八幡技研 森 久・谷沢清人・山手 実

【質問】 金材技研 工博 郡司 好喜

1) Fig. 7 の模式図に見られる L_{SR} と L_{SC} の関係は大型鋼塊のそれと多少異なつてはいないか。 La_2O_3 と同じ挙動をすると考えられる Al_2O_3 は、鋼塊の高さによる差はあつてもコア部で増加しないのが普通であると考えられる。またリミング作用があるうちにタコツボを投入しても、 La_2O_3 の浮上分離を著しく促進するほどのポイリングが付加されるというのは疑問であるから、図中の L_L は L_T に割合近い所にあり、 L_{SC} も L_T に近い所にあるのではないだろうか。したがって L_T と L_{SR} は注入後、若干の時間を経てから交差するのではないだろうか。

2) 以上のようにリミング初期には L_T か L_{SR} より下方にあれば、 La_2O_3 がトラップされる確率は1より大きいことも起こり得る。 La_2O_3 がトラップされる大きな要因は凝固前面の凹凸であると考えられるので、その確率は凝固前面の凹凸の性状によるのはもちろんであるが、さらにそこを通過する溶鋼の量とその中の La_2O_3 の濃度すなわち単位時間に通過する La_2O_3 の量に支配されるはずである。リミング作用がある間は、凝固前面で発生したCOガスが凝固前面に沿って上昇するので溶鋼流もそれと同じ方向に流れ、溶鋼中の La_2O_3 の相当部分が凝固前面を通過しながら浮上してゆくだろう。

リミング初期では、 La_2O_3 の濃度も高く、リミング作用も活発で溶鋼の動きも激しいので、単位時間に凝固前面を通過する La_2O_3 の量が多く、したがってトラップの確率も大きいと考えられる。

Fig. 6 に示されるように浮上分離速度係数が大きい時期にはトラップの確率も大きいことは、以上の理由によるものと考えられる。

3) Fig. 8 において正立鋳型におけるトラップの確率がリミング初期において特に大きく、浮上分離速度係数が減少すると急激にトラップの確率が減少するのはこうした要因で説明されると思われる。

傾斜鋳型の上側が常にトラップしやすいのは、凹凸の角度がトラップしやすくなっているばかりでなく、 La_2O_3 を含んだ溶鋼流の通過の多いことも、起因するのではないか。

【回答】

1) ご指摘のように、予講(鉄と鋼, 53 (1967) 10, p. 357)の Fig. 7 の場合と一般の大型鋼塊の Al_2O_3 分布は多少異なつてくることもあると思う。詳しく調査したことはないが、筆者らが大型鋼塊(8~14t)のボトム部について La_2O_3 の分布を調査した結果では、リム部からコア部に入つて多少上昇する傾向は認められるが、この上昇量は今回の実験結果よりも非常に小さくなっている。

また、予講の Fig. 7 においてタコツボ型試料の濃度