

の期に至ると底面側における気泡発生は、側面方向のそれに比べて、かなり押えられて散発的となることを示している。離れ小島状に散在する ^{198}Au 分布箇所は、粘調な溶鋼内から気泡が浮上したあとに、上方からAuを含む溶鋼が入り込んだ痕跡と考えられる。

このようにして次第にボトム部に粘調な相が滞溜してくると、ますます底面側からの気泡発生と浮上は抑えられ、ついには、一旦底面側から浮上してきた気泡が、粘調な相内で浮上途中に停止してしまうようになる。注入時に ^{140}La を投入したリムド鋼塊縦断面のオートラジオグラフで、鋼塊ボトムコア部に $^{140}\text{La}_2\text{O}_3$ を捕集しつつ浮上した気泡が途中で停止した痕跡が認められた²⁾。

さらに粘調な相の滞溜が進んでリミングアクション最終期に至ると、気泡発生は、ほとんど鋼塊側面方向の凝固面で起こるようになる。このことは、Photo. 1において、底面方向の ^{198}Au の分布しない厚さが最も厚いNo. 4鋼塊では、 ^{198}Au の分布した範囲が側面側凝固面にそつて下方に突出しており、ここでのリミングアクションによる湯動きが最も長く持続したことを示していることから明らかである。No. 4鋼塊に次いでAuの分布しない厚さの厚いNo. 1鋼塊についても、同様な傾向が認められる。

なお、鋼塊底面方向の凝固速度は側面方向のそれに比べて速いとする説が多いようであるが、Photo. 1のNo. 4鋼塊でAuが側面側凝固面に沿つて下方に突出していることから明らかなように、ボトムに滞溜する湯動きのない相は、pasty zoneであつて、凝固完了相ではないことを付け加えておきたい。

以上は、鋼塊縦断面についてであるが、リミングアクション末期の鋼塊横断面については、次のごとく考えられる。

Photo. 2で、鋼塊底面側の ^{198}Au が分布しない厚さが厚い鋼塊 (No. 4およびNo. 1鋼塊) では、鋼塊隅角部のAuの分布した輪郭が明瞭であることから、隅角部においてリミングアクションが持続していることが認められるが、Auの分布しない厚さが薄い鋼塊では、隅角部以外の場所に ^{198}Au が分布している (^{198}Au が分布しない粘調な相の厚さが薄い場合は、粘調な相の上面形状は下に凸の曲面であるから当然であろう)。

また、Photo. 3で示したオートラジオグラフにみられる ^{198}Au の分布した範囲とサルファープリントでみられるコア部境界との間隙の厚さをみると、隅角部の間隙の厚さは平面部のそれに比べて明らかに厚く、リミングアクションが隅角部において最も長く持続したことを示している。なお、Auが分布した境界線の曲率は鋼塊のそれに比べてかなり小さく、隅角部における凝固速度は平面部のそれに比べて大きいとは考えられないようである。

さらに、Photo. 3で、隅角部の ^{198}Au の分布状況を詳しく観察すると、凝固面にそつて層状に分布していることが認められる。これは、 ^{198}Au が連続的に供給されたものではなく間歇的に供給されたこと——すなわち、隅角部におけるリミングアクションは、断続的に持続したことを示している。

5. 結 言

リミングアクション中期以後に ^{198}Au を挿入したリム

ド鋼塊断面のオートラジオグラフから、リミングアクション中に鋼塊ボトム部に、湯動きのほとんどない粘調な相が滞溜生長し、底面側における気泡発生は抑制され、鋼塊側面側の凝固面——特に隅角部——においてリミングアクションが最も長く持続し、ただし隅角部においては断続的に持続することがわかつた。

文 献

- 1) 森, 他: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 1754
- 2) 森, 他: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 1898, p. 1930

(66) リムド鋼塊のスキン厚さの算定について

八幡製鉄所, 技術研究所 工博 一戸正良
戸畑製造所 森田重明
技術研究所 梶岡博幸・○神田光雄

Assessment of Skin Thickness of Rimming Ingots.

Dr. Masayoshi ICHINOE, Shigeaki MORITA,
Hiroyuki KAJIOKA and Mitsuo KANDA.

1. 緒 言

冷延薄板の需要の増加に伴い量的に大きな比重をしめるリムド鋼に対してますます高度の品質が要求される状況にある。冷延薄板の表面性状、絞り性、機械的性質などの品質上の問題点は加熱、圧延、熱処理などの工程に起因する場合もあるとはいえ、根本的には鋼塊性状に左右されることが多く、良好な鋼塊を製造することは良好な冷延薄板を得る上に不可欠である。

リムド鋼塊の良悪の判定を行なうのに多くの場合、鋼塊を切断し気泡の状況や偏析を調査する方法が採用されている。これらの鋼塊性状と製鋼要因との対応を求め最も適当な製鋼塊の作業標準を作成しそれを守ることによつて良好な鋼塊を製造しようとする方法が一般に採られている。しかしこのような方法では個々の鋼塊の品質判定が不可能でありヒート単位の管理とならざるを得ない。われわれは鋼塊の頭部形状と内部性状の間に密接な関係があると考え、頭部形状による鋼塊品質の判定を可能とすべく試験を始めた。試験の結果、鋼塊内部性状は鋼塊頭部形状の外観観察によりかなり推定できる見通しがついたので報告する。

2. 試験方法

試験鋼種にC < 0.10%, Mn < 0.45%の低炭素リムド鋼を選んだ。鋼塊形状は665mm×1070mm×(1700~1900mm)の単重10tの扁平型である。70t出鋼の純鉄素転炉で溶製した溶鋼を前記鑄型に注入し、凝固後冷塊の状態で頭部形状を測定すると同時に鋼塊底部より400mmの位置よりくさび型のコーナサンプルを切り出しスキン厚さや気泡形状を測定し鋼塊頭部形状との関係を探った。試験鋼塊を製造する際の変更要因としてi) 湯上り速度, ii) 取鍋投入Al量, iii) 鑄型内スケール添加量など主として造塊上の要因を選び、異なつた頭部形状が得られるようにしてヒートの異なる40鋼塊を調査の対象とした。吹錬条件の変更は転炉製鋼法の根本的問題であり現在の安定した操業状態を乱したくないことから

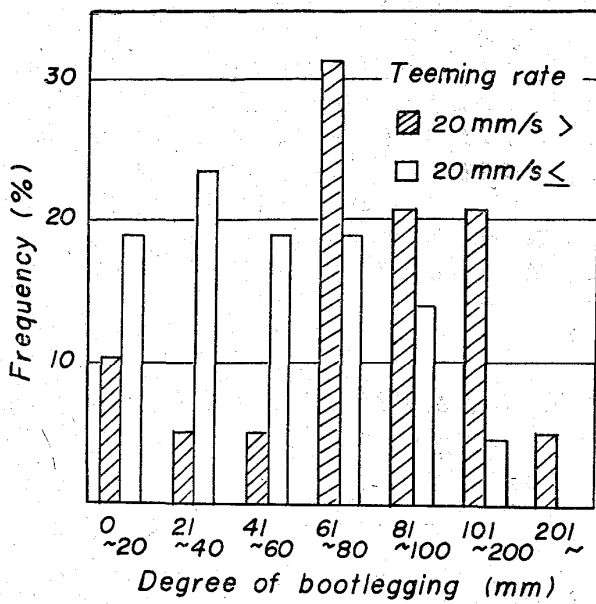


Fig. 1. Distribution of degree of bootlegging.

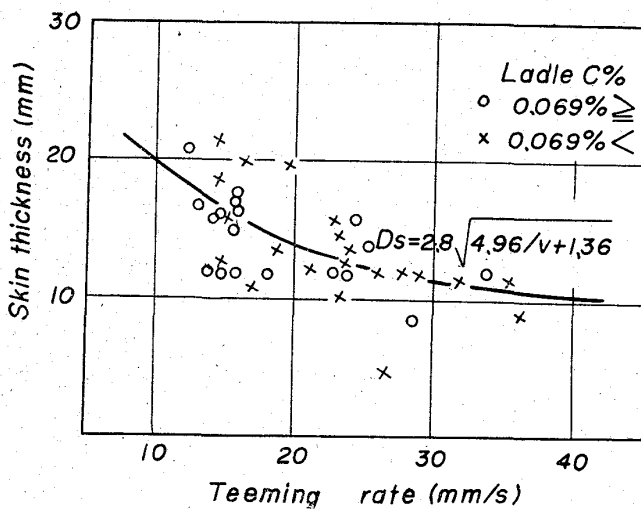


Fig. 2. Effect of teeming rate on skin thickness.

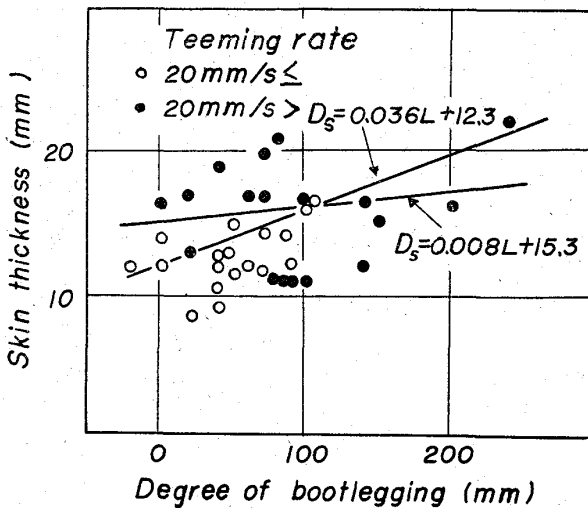


Fig. 3. Relation between skin thickness and degree of bootlegging.

試験鋼塊製造上の変更要因としては上記の造塊条件のみにとどめた。

3. 試験結果および検討

3.1 鋼塊頭部形状

リムド鋼塊の頭部形状は鋼塊形状、リミングアクションの強さ、注入操作などによつて膨張型となつたり湯引け型となつたりする。湯引けする鋼塊は気泡の逸散量から考えて膨張する鋼塊よりリミングアクションは良好であつたと考えることができる。ただし頭部形状は分塊歩留や鋼塊頭部の清浄性にも関係するので、鋼種や成品断面によつていずれが有利な頭部形状であるかは異なる。

Fig. 1 に湯引け量の分布状況を湯上り速度で層別して示した。湯上り速度が大きいと湯引けし難くなるようである。湯上り速度が小さいと注入中の溶鋼の静圧の増加速度が小さく、気泡が生成逸散しやすくなるので爾後のリミングアクションも良好になり湯引けするのであろう。また湯上り速度が小さいと空気酸化量が大きく湯引けしやすくなるとも考えられる。さらに i) リミングアクションが強いほど (取鍋成分から推定されるリミングアクションの強さ)、ii) 取鍋投入 Al 量が少ないほど、iii) 気泡の径が小さく管状気泡の残留しない範囲が大きいほど、湯引けしやすい傾向が認められた。

3.2 スキン厚さにおよぼす諸要因

リムド鋼塊の良悪を判定する場合、鋼塊肌から管状気泡発生までの距離すなわちスキン厚さは重要な基準となる。今回試験対象とした成分範囲のリムド鋼塊ではスキン厚さは Fig. 2 に示したように一義的には湯上り速度で定るようである。40 鋼塊のデータを統計的に解析した結果、湯上り速度との間に次の関係式が得られた。

$$D_s = 2.8 \sqrt{4.96/v + 1.36}$$

D_s ; スキン厚さ (mm)

v ; 湯上り速度 (mm/sec)

湯上り速度以外の要因としては取鍋成分やスケール添加の影響が認められた。すなわちスキン厚さは低炭素リムド鋼の範囲で C% が高く Mn% が低いほど、鑄型添加スケール量が多いほど厚くなる傾向が認められた。化学成分の影響は NILLES¹⁾ が認めた結果と一致している。

3.3 スキン厚さと頭部形状の関係

Fig. 3 にスキン厚さと湯引け量の関係を示した。湯上り速度が小さい場合は湯引け量との関係は明瞭でないが、湯上り速度の大きい場合は湯引け量の増加とともにスキン厚さは大きくなる傾向が明瞭に伺える。Fig. 4 から明らかなように湯上り速度の小さい場合は湯引け量は気泡の径にも左右されることがわかる。湯引け現象は注入直後の溶鋼の密度 (ρ_L) と凝固後の鋼塊の密度 (ρ_S) の差によつて生ずるものと考えられる。 ρ_L には注入速度、鋼塊形状、脱酸度が関係し、 ρ_S には管状気泡の残留しない範囲、管状気泡の径、管状気泡の密度などが関係する。スキン厚さはリミングアクションに直接影響される管状気泡の残留しない範囲に強く関係すると考えられる。湯上り速度の小さい場合は、湯引け量はたとえばスキン厚さに直接関係しない管状気泡の径に左右されるので Fig. 3 のように湯引け量とスキン厚さの関係が不明瞭になつたのであろう。

リムド鋼塊の品質管理を個々の鋼塊について行なおう

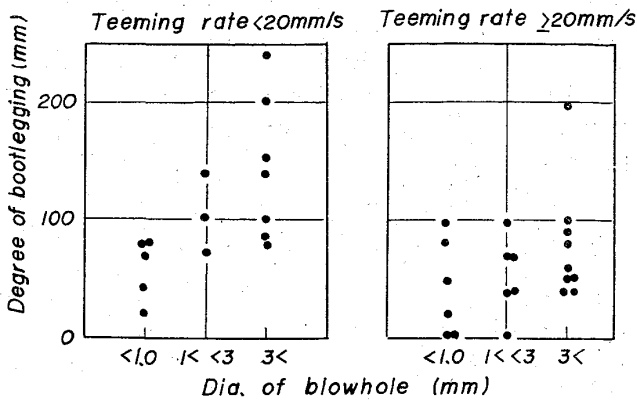


Fig. 4. Relation between degree of bootlegging and dia. of blowhole.

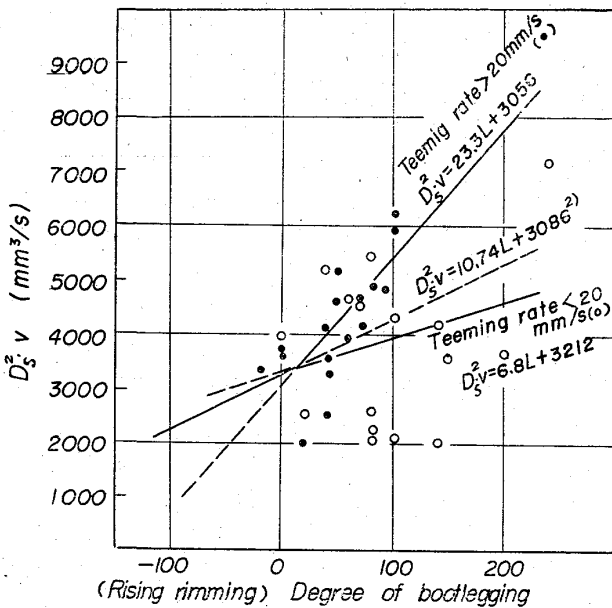


Fig. 5. Relation between $D_s^2 \cdot v$ and degree of bootlegging.

とする場合、i) 非破壊検査であること、ii) 短時間に簡単に行なえること、iii) 個人誤差の少ないこと、などの条件を満足するような方法が好ましい。そこで鋼塊の頭部形状の外観観察によつて鋼塊内部性状が推定できるか否かを検討してみた。鋼塊品質の判定はスキン厚さによつた。

前述したように管状気泡の残留しない範囲が大きいはど湯引けしやすいのでリミングアクションが良好であれば湯引けしやすいともいえる。スキンの生成機構²⁾³⁾よりスキン厚さと管状気泡の残留しない範囲との間には

$$D_s = k\sqrt{t} = k\sqrt{h/v}$$

$$\therefore D_s^2 \cdot v = k^2 \cdot h$$

- t : 凝固時間
- h : 管状気泡の残留しない範囲(mm)
- v : 湯上り速度 (mm/sec)
- k : 凝固係数

なる関係が成り立つ。前述のように鋼塊高さが一定ならば湯引け量と管状気泡の残留しない範囲は直線関係にあると考えられるので $D_s^2 \cdot v$ は結局湯引け量に比例すると

考えられる。すなわち

$$D_s^2 \cdot v = aL + b$$

L : 湯引け量 (mm)

a, b : 定数 (鋼塊形状、湯上り速度による)

なる関係が成立する。Fig.5に湯引け量と $D_s^2 \cdot v$ との関係を示した。 $D_s^2 \cdot v$ は湯引け量の増加とともに増加する傾向が伺えるが、湯上り速度によつて相関関係の強さの程度が異なるようである。湯上り速度の大きい場合により強い相関関係が認められる。湯上り速度の小さい場合は前述のように気泡の径が湯引け量に関係しているのでバラツキが大きくなつたのであろう。

S. J. SMITH²⁾ や D. P. RODERICK⁴⁾ も鋼塊頭部形状と内部性状に関係のあることを認めている。S. J. SMITH²⁾ が 2~5 t 鋼塊で求めた関係を Fig. 5 に併示した。鋼塊形状や湯上り速度が異なつてゐるので湯引け量がスキン厚さに関係する程度が若干異なるのみで同じような結果である。Fig.5 の関係を式で示すと次の通りである。

湯上り速度 ≥ 20 mm/sec の場合

$$D_s^2 \cdot v = 23 \cdot 3L + 3056 \quad n=17, r=0.739^{**}$$

湯上り速度 < 20 mm/sec の場合

$$D_s^2 \cdot v = 6 \cdot 8L + 3212 \quad n=16, r=0.516$$

S. J. SMITH²⁾ の式

$$D_s^2 \cdot v = 10 \cdot 74L + 3086$$

鋼塊形状や湯上り速度が定れば湯引け量によりスキン厚さは推定できるようであり、このような場合は湯引け量をリミングアクションの強さの尺度としてさしつかえないことがわかる。鋼塊高さが低い場合は管状気泡の残留しない範囲がかなり小さくても湯引けする傾向があるので湯引け量の大小でリミングアクションの強さを検討する場合には鋼塊高さを考慮に入れる必要がある。

4. 結 言

リムド鋼塊の頭部形状は鋼塊内部性状と密接な関係があると考え、両者の関係を鋼塊のコーナーサンプルにより調査した。その結果、鋼塊形状や湯上り速度が定めれば

$$D_s^2 \cdot v = a \cdot L + b$$

D_s : スキン厚さ

v : 湯上り速度

L : 湯引け量

a, b : 定数

なる関係があることがわかつた。したがつて湯引け量からスキン厚さが推定でき、かつ湯引け量をリミングアクションの強さの尺度とすることができる。

文 献

- 1) P. NILLES: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 202 (1964) July, p. 601
- 2) S. J. SMITH: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 173 (1953) Jan., p. 16
- 3) 小平: 縁付鋼塊の研究
- 4) D. P. RODERICK: Iron and Coal, 19 (1961) p. 1073