

討8 連続铸造ビレットのマクロ組織と偏析

八幡製鉄 技研 ○森 久 田中伸昌 佐藤憲夫
八幡 平居正純

1 緒 言

連続铸造における凝固の問題は極めて多岐にわたる側面を有しており、たとえば、伝熱 - 凝固速度 - 熱応力 - 割れなどの熱工学あるいは材料工学的問題や、精錬 - 溶鋼処理 - 鑄込条件 - 鑄片の性状などの冶金学的問題など、追求すべき点が多く、これらの問題の体系化が急がれている。ここでは、00ビレットのマクロ組織と偏析についてとりまとめた。

2 試験の範囲

試験鋼種の範囲は、0.10~0.85% C, 0.20~0.35% Si, 0.40~0.85% Mnの普通炭素鋼であり、0.10~0.25% C鋼を低炭素鋼, 0.28~0.50% C鋼を中炭素鋼, 0.58~0.85% C鋼を高炭素鋼と分類しておく。鑄片サイズ(mm)と引抜速度はそれぞれ、80 ϕ (4 m/min), 160 ϕ (1.5 m) 210 \times 350 (0.75 m), 260 \times 370 (0.55 m) 250 ϕ (0.6 m)であり、光電炉溶製の250 ϕ を除いて、他サイズは東田転炉溶製のものである。

3 マクロ組織と偏析

80mm ϕ ビレット縦断面のサルファープリントの例を写真1に示す。中心部の濃厚偏析やセンターポロシティーの評点を、便宜上A, B, C, Dに分類する。評点Aでは、柱状晶が短く等軸晶帯の幅が広く、V偏析帯は幅広く分散しており、軸心部の局所的濃厚偏析は認められず、センターポロシティーは幅広く多孔質状になつている。評点Eでは、柱状晶が軸心近くまで発達して、軸心部に局所的濃厚偏析が存在し、軸心の周囲に負偏析を伴うV偏析線が周期的に残留し、センターポロシティーはパイプ状である。

このパイプ状のセンターポロシティーの生成機構に関して、凝固速度試験の際の $^{198}\text{Au-Pb}$ 合金沈降下端近傍のオートラジオグラフ(写真2)に興味ある現象が認められる。すなわち、凝固厚さ(残溶鋼の径)は鑄片長さ方向に著しい凹凸が認められ、柱状晶が長く成長している部分の残溶鋼の径が小さく、この部分が他の部分に比べてより早く凝固が完了することを示している。したがって、高温注入のため柱状晶がビレット中心軸近傍まで長く成長しているビレットでは、柱状晶が最も長く成長する部分に等軸晶がひつかかつてブリッジングがおこる。このようなブリッジングにより、それ以後の上方からの押湯が効かなくなり、ブリッジより下方の残溶鋼の凝固収縮に伴いパイプが残留したものと考えられる。

このようなマクロ組織や偏析を左右する最大の要因は、鑄込溶鋼のスーパーヒート ΔT (タンディッシュ内溶鋼温度 - 鋼の液相線温度)であり、1例として中心偏析評点に及ぼす ΔT の影響を図1に示す。 ΔT が大なるほど偏析評点が悪化

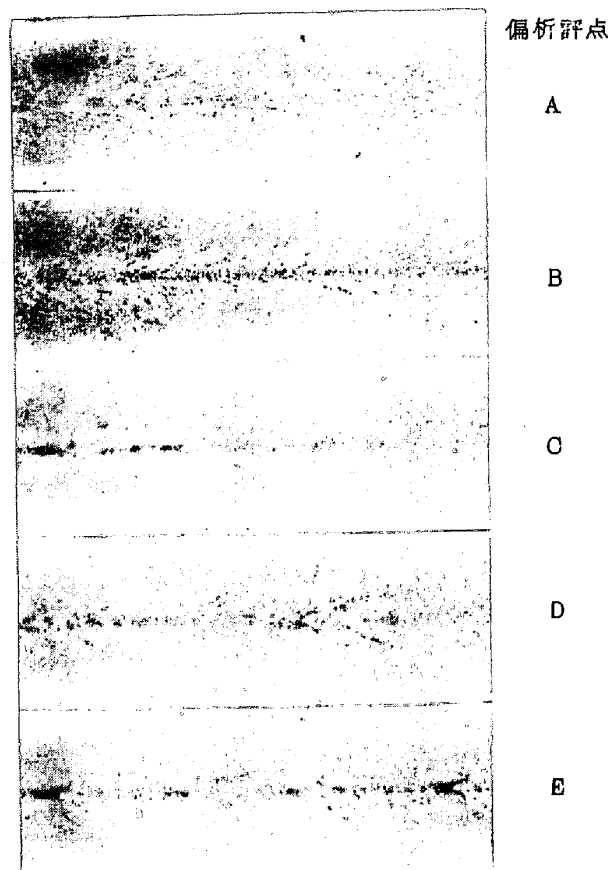


写真1. 80 ϕ 鑄片縦断面サルファープリント

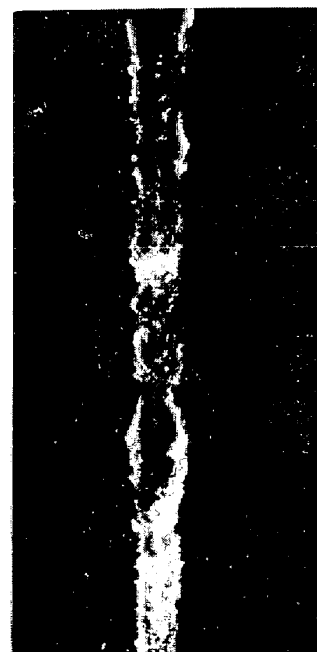


写真2. $^{198}\text{Au-Pb}$ 沈降下端近傍のオートラジオグラフ(113 ϕ 鑄片縦断面)

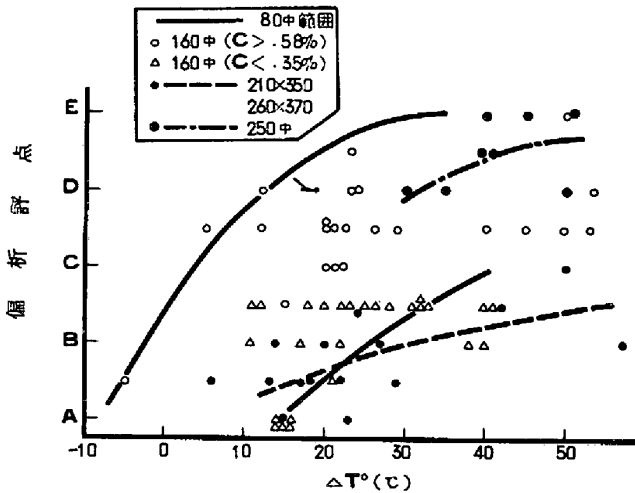


図1. 鑄込み ΔT と偏析評点との関係

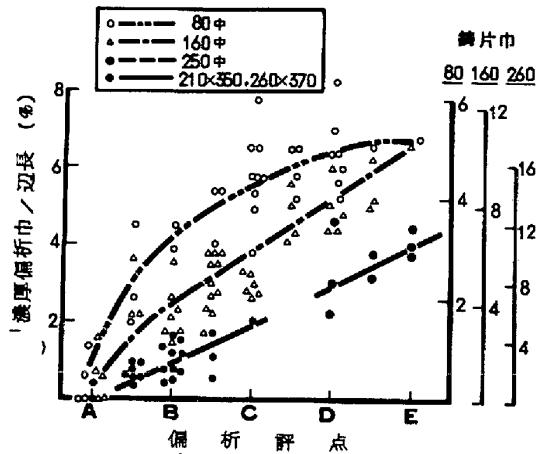


図2. 濃厚偏析巾と偏析評点との関係

するが、ピレット断面が角型である場合80~250mm ϕ の範囲について同様な傾向が認められる。しかし、210×350mmなどの扁平大断面ブルームの偏析評点は250 ϕ 鑄片に比べて著しく良好であり、 ΔT が50℃でも偏析評点は0にすぎない。高温注入した扁平大断面ブルームのサルファープリントを写真3に示す。横断面中央部には楕円状の負偏析部と、その内部に楕円状の正偏析部がみられる。鑄片横断面が正方形である場合は、最終凝固位置である中心軸上に濃厚偏析が集中するが、矩形断面では、最終凝固位置が面(モデル的に)となるため、中心偏析が分散すると考えられる。

サルファープリントで明瞭な輪郭を示す濃厚偏析部の幅は、図2に示す如く、偏析評点が悪くなるほど広がる。角型鑄片については、同一偏析評点では、鑄片サイズが大きいほど広くなり、80 ϕ ではmax 6mm、160 ϕ ではmax 11.5mm、250 ϕ ではmax 12mmとなつている。一方、扁平大断面ブルームでは、評点が最悪の0の場合でも5.5mmにすぎない。したがって、濃厚偏析幅の辺長に対する割合は小断面サイズほど大きくなつており、80 ϕ ではmax 8%に達するのに対し、250 ϕ ではmax 5%、扁平大断面ブルームではmax 2%程度である。

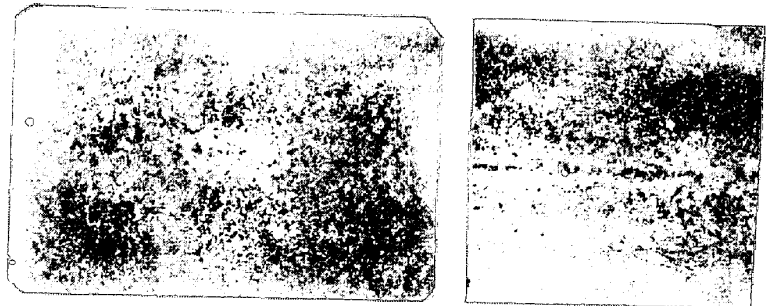
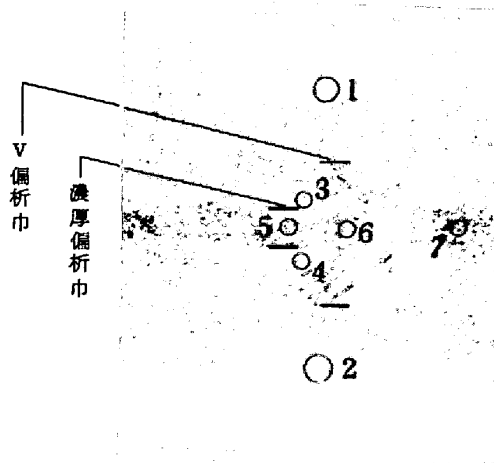


写真3. 高温注入した260×370鑄片のサルファープリント ($\Delta T=50^\circ\text{C}$, 高炭鋼)

マクロ性状特性値に及ぼすその他の要因として、濃厚偏析幅及び中心偏析評点は、鋼のC%が高いほど不良となる傾向が認められる。低炭素鋼では、センターポロシティーが比較的長く連続しており、高温注入においてもV偏析線はほとんどみられないが、高温注入の高炭素鋼ではV偏析線が週期的に残留し、その直下により太くて短いセンターポロシティーが残留している。

また、片側タンデイツシュ3ストラ



Mn分析値	
1	0.72%
2	0.72%
3	0.68%
4	0.68%
5	0.82%
6	0.80%
7	0.81%

○ 3mm ϕ ドリル
 ○ 5mm ϕ " " " " " "
 80 ϕ 硬線(0.75% C)

写真4. セミマイクロ偏析サンプリング要領

ンドのうち、なんらかの原因で1~2ストランドの鑄込が中止された場合は、鑄込中止ストランド数が多いほどマクロ性状は良好となることが重回帰分析で認められた。これは、鑄込中止により、タンデイツシュ内溶銹の滯溜時間が延長するためである。

また、引抜速度がおそいほど、冷却水量が少ないほど、マクロ性状は理論的には向上するものと推測されるが、本試験条件の範囲では、これらの効果は明らかでない。

なお、柱状晶長さ - センターポロシティ - 評点 - 濃厚V偏析巾 - 中心偏析評点などの特性値間には正の相関があり、これらとV偏析巾との間には負の相関がある。

4 濃厚偏析部におけるMn, Cの偏析度

高炭素鋼の濃厚偏析部のセミミクロ的な偏析度を調査するため、鑄片縦断面より直径3mmのドリルで深さ3mmの試料を、写真4のサルファープリントに示した如く、濃厚偏析部及びその周囲の負偏析部より採取し、Mn, Cの分析を行った。吸光光度法によるMn分析には0.1gの試料が必要であり、電気伝導度法によるC分析には0.5gの試料が必要であるため、Mn分析に主体をおき、Cについては160φ、250φの著しい濃厚偏析が認められたものについてのみ、上記の要領で4~5点から採取した試料を合わせて分析した。

各サイズの鑄片のMnとCの偏析度を図3に示す。バラツキは大きい、偏析評点が悪いほど偏析度は大きくなる傾向がみられ、偏析度は同一評点では160φ > 250φ > 260×370 or 260×370 > 80φの順となっており、最も高い偏析度を示した160φでは、Mnでmax 1.3、Cでmax 1.8の正偏析度がみられた。ここで、250φ鑄片より160φ鑄片のほうが偏析度が高いという予想外の結果が得られたが、これは試料数が少なかつたためであろう。扁平大断面ブルーム及び80φピレットでは、前者は濃厚偏析部が分散しているため、後者は濃厚偏析部のサイズが小さいため、サンプリングの位置が不適当であつたことも影響しているものと思われるが、Mnの偏析度はmax 1.12程度であり、特に扁平大断面ブルームの最も悪いものでも80φのD程度とセミミクロ偏析の点ではかなり有利である。

直径の大きなドリル試料の分析から判定すると、内外の文献にみられるように角型CC鑄片の中心偏析はキルド鑄塊に比べて小さいが、以上のように軸心部の局所的な濃厚偏析はかなり著しく、この濃厚偏析は鑄片断面の扁平化により軽減されることが明らかとなつた。このような局所的な濃厚偏析の残留は、鑄片の厚さが薄く横方向凝固であるというCC法の本質に由来するものと云えよう。

連鑄ピレットの軸心濃厚偏析について、加熱炉中のC拡散の面から検討してみよう。シリンダーモデルによると、半径aのシリンダー内の溶質濃度C₀、加熱後シリンダーの中心からrの点の濃度C、拡散定数D、加熱時間tとすると、C/C₀とr/aとの関係は、

$\sqrt{Dt}/a = 0, 1/4, 1/2, 1$ の場合図4の如くなる。鋼中Cの拡散係数としてNeh1等の値を採用した場合、拡散時間と \sqrt{Dt} との

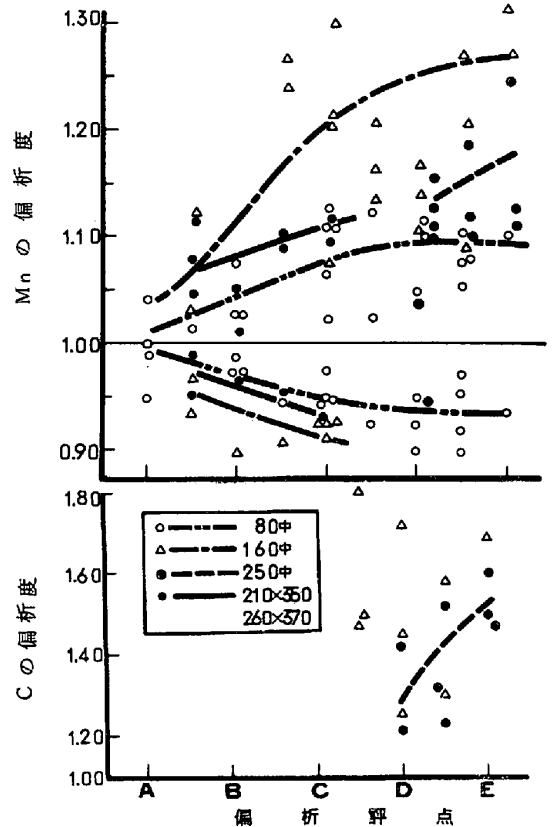


図3. 鑄片中心軸附近のC, Mnのセミミクロ偏析度

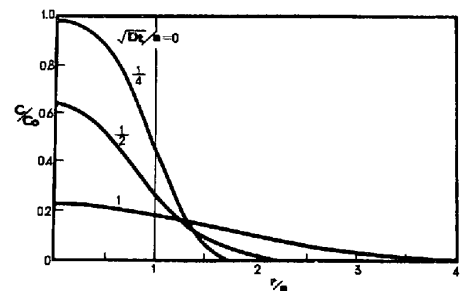


図4. シリンダーモデルによる拡散状況 (The Mathematics of Diffusions)

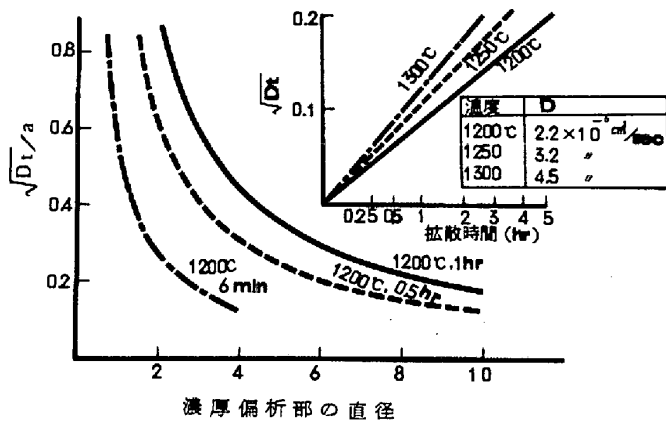


図5. 偏析部の直径及び拡散時間と Dt/a との関係

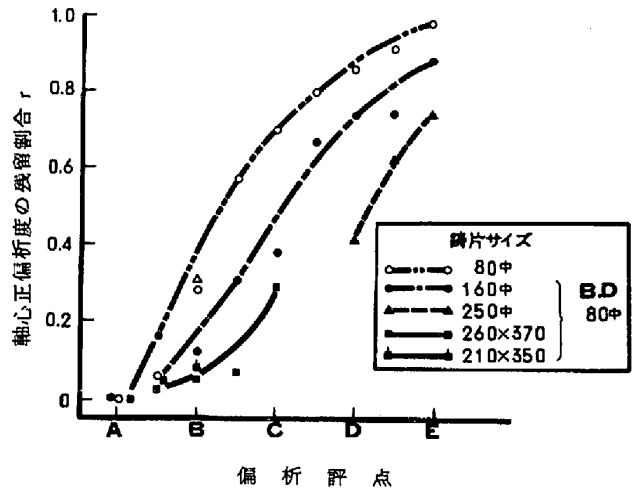


図6. 80mm ビレットの 1200°C × 1hr. 加熱による軸心C偏析の減少状況 (計算値)

関係及び濃厚偏析巾 $2a$ と \sqrt{Dt}/a との関係は、図5の如くなる。いま80φ以上の断面のビレットは80φにブレイクダウンしたのち加熱炉で1200°C × 1hr 加熱する場合、ブレイクダウンに伴う濃厚偏析幅の減少率は辺長の減少率に等しいと仮定すると、図2、図4及び図5より、加熱後の $C/C_0 = S$ が算出される。

加熱後の濃厚偏析部中心の正偏析度の残留割合 S と鑄片の中心偏析評点との関係は、鑄片サイズ別に図6の如く算出される。これより、正偏析度の残留割合を0.5以下にするためには、80φ鑄片では鑄片中心偏析評点をBランク以下、160φではCランク、250φではDランクにする必要があるが、扁平大断面ブルームでは最も評点の悪いCランクでも残留割合が0.3程度にすぎない。このように加熱炉中におけるC中心偏析の拡散消失の点でも、鑄片断面サイズを大きくして2 heat 工程を採用する方が有利であり、特に扁平化の効果が著しいことが明らかである。なお、Mnの拡散係数は、1200°Cで $10^{-9} \text{ cm}^2/\text{sec}$ のオーダーであり、加熱による拡散消失は期待できない。