

討 8 連続鑄造鋳片の凝固組織と非金属介在物の挙動について

新日鉄 室蘭製鉄所

久芳正義 田阪 興
○伊藤幸良 前出弘文

1. 緒言

連続鑄造は鋼塊とは異なった凝固形態をとるために鋳片の性状も種々の特性を示す。そのための品質上も連続鑄造材特有の問題があり、数多くの研究が進められてきている。^{1)~4)}本報告は、連続鑄造鋳片の非金属介在物の分布の特徴を明らかにし、その特徴的な挙動を凝固組織との関係から検討を行なった結果である。

2. 試験の対象

本試験の対象としたのは表 1 に成分範囲を示す電鍍鋼管用素材のAl-Siキルド鋼で、いずれも

表 1 供試材の成分範囲

C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %
0.15~0.24	0.13~0.35	0.44~0.67	0.012~0.026	0.003~0.016	0.010~0.057

垂直式連続鑄造機により断面寸法 150×930^{mm}、200×930^{mm}に鑄造した。

3. 非金属介在物分布の特徴

各試験々々々の鑄造中期の鋳片から試料を採取し、そのC断面について、S-プリント、地氈試験、連続的顕微鏡観察、化学分析などにより非金属介在物の分布を検討した。

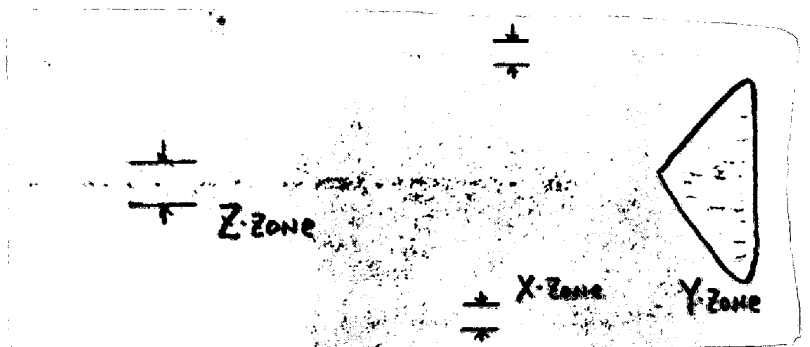


写真.1 鋳片断面のS-プリントの一例 (×2/5)

写真.1に鋳片C断面のS-プリントの典型を示す。連続鑄造材では非金属介在物はここに模式的に示すごとく三つの領域に明らかな集積を示す。すなわち、(i) 鋳片表層部から10^{mm}~40^{mm}の部分、これを仮にX-Zoneと称する。(ii) 短辺隅角のY-Zone、(iii) 鋳片中心部のZ-Zoneである。図.1には一例として鋳片厚さ方向の地氈の分布を示した。

三つの特徴的な非金属介在物集積部のうち、Y-Zoneは短辺側と長辺側から発達する柱状晶の合致部分、Z-Zoneは鋳片の最終凝固位置であり鋼塊においても一般に認められている現象である。

一方、X-Zoneは連続鑄造材特有の現象であり、鋼塊にはこれに対応する現象はみられない。このX-Zoneに集積する非金属介在物

は本試験のごとくAlによる脱酸度の強い場合には、群落状のAl₂O₃で、必ずしも巨大なものとは限らない。写真.2に一例を示す。しかしながらこの部分への非金属介在物の集積は電鍍鋼管用素材では非常に重要な意味をもっている。

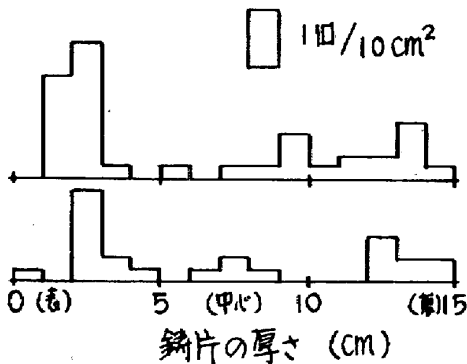


図1 鋳片厚さ方向の地氈分布



写真.2 X-Zoneの群落状Al₂O₃(表面から2cm) (×400)

4. X-Zone への非金属介在物集積の品質上の問題

電線鋼管の溶接部では一般に写真.3に示すようにメタルの動きがある。すなわち、溶接部が圧接により内部より押出される際にその近傍のメタルフローは急激に立ちあがりを示す。したがってこの部分に非金属介在物が存在すると線状の欠陥の発生を招く。さらにこの部分はビードの切削により露出するために欠陥を発生しやすい。



(×10)

写真.3 電線鋼管C断面の溶接部近傍のメタルフロー

このメタルフローの立ち上がりの程度は鋼管のちぢ (t:厚さ, D:管径) により若干異なるが、いづれも板厚の5~25%の位置で大きい。

連続鍛造材のX-Zoneはこのメタルフローの立ち上がりの急な部分に一致するため、ここに集積する非金属介在物が必ずしも巨大でないにもかかわらず重要な問題となる。写真.4には欠陥部の非金属介在物の一例を示した。多くの場合非金属介在物を継いでクラックの伝播が認められる。

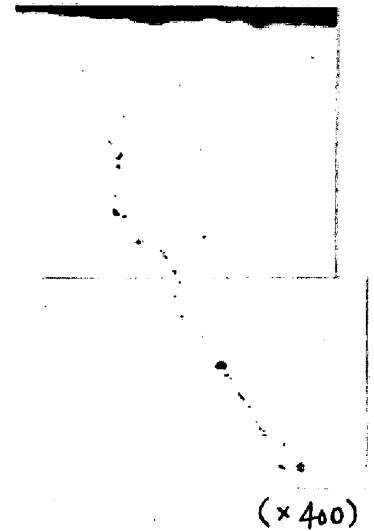
5. 凝固組織

鋳片のマクロな凝固組織の観察では、X-Zoneは柱状晶の範囲内にあり、特に不連続は見出せない。そこで、前述の鋳片試料の中中央で、厚さ方向の連続的を顕微鏡試料を作製し、樹枝状晶の二次アームの間隔を測定した。測定の方法はオーバーホッフ腐蝕後、三口の樹枝状晶の二次アームの間隔を3回くり返し測定しこれを平均した。

図.2に鋳片の表面からの距離に対する樹枝状晶の二次アームの間隔の関係を示す。測定結果は一部について示すごく多少のバラツキがあるための最小二乗法により関係式を求めて示した。

これによると、X-Zoneに相当する位置を堺にして二つの直線となり、4ヤージによりその屈折の程度が異なることが判る。

樹枝状晶のアームの間隔は凝固速度、温度勾配などに依存することも報告されており、^{5)~6)} X-Zoneにおける非金属介在物の集積は、結晶成長の不連続に起因していると考えられる。すなわち、凝固の進行にともなって非金属介在物は凝固前面へ次々と排出されており、それが結晶成長の不連続によってそこへ捕捉され集積するものと考えられる。



(×400)

写真.4 欠陥部の介在物

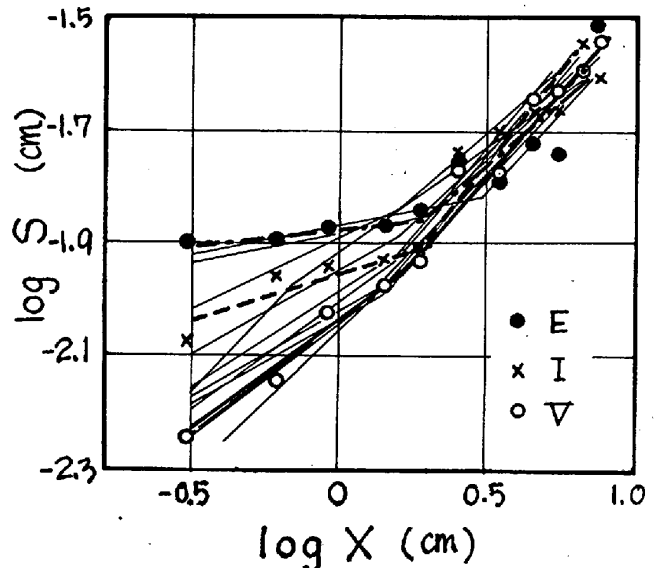


図2 鋳片の凝固距離(X)と樹枝状晶の二次アームの間隔(S)との関係

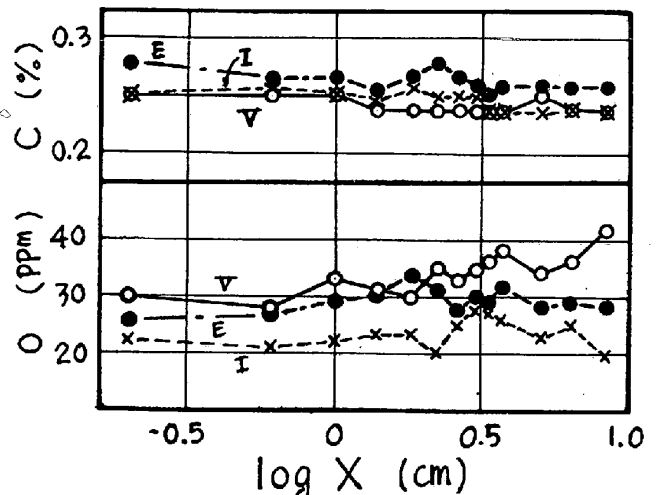


図3 凝固距離(X)とCおよびOの分布

したがってX-Zoneへの非金属介在物の集積の程度も前述の凝固距離と樹枝状晶二次アームの間隔の関係における屈折の程度によって左右されるものと考えられる。この点を確かめるために、図2の試験4ヤージの中からX-Zoneでの屈折程度の異なる4ヤージを選び、始めに述べた非金属介在物の調査に加えて、成分元素の分布を連続分析によって検討した。

表 2 試験材の鑄造概要

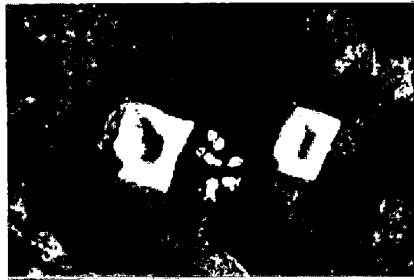
No.	鋼下分析値 (%)						鑄造温度	T.L.L.*	ΔT	鋳厚
	C	Si	Mn	P	S	Al				
E	0.24	0.34	0.52	0.028	0.011	0.023	1545	1513	32	200
I	0.22	0.33	0.52	0.019	0.012	0.057	1550	1515	35	200
▽	0.21	0.32	0.60	0.020	0.006	0.021	1565	1516	49	200

* T.L.L. = 1538 - 55 × C - 80 × C² - 13 × Si - 48 × Mn⁷⁾

表 2 に対象とした3ヤージの鑄造概要を示す。

調査結果のうちCの分布およびOの分布を図3に示す。図2と対比してみると前述の関係が非常に明瞭である。すなわち、図2における屈折程度の最も小さい▽では、C、Oともに非常に滑らかな分布を示すのに対して、屈折程度の大きなEでは、C、Oともに屈折点ではっきりとしたピークを持ち非金属介在物の集積程度が、樹枝状晶の成長速度の不連続程度に左右されることを示している。

なおX-Zoneに集積する非金属介在物は、樹枝状晶の樹間および結晶内部のいづれにも存在しているのが観察される。写真5にその代表例を示した。このことは、非金属介在物が凝固前に既に形成されており、凝固の進行にもなつて、凝固前面に次々と排出されていることを示していると考えられる。



(1) 樹間の介在物

(2) 結晶内部の介在物

写真5 樹枝状晶と非金属介在物の存在位置 (×400)

6. 鑄造条件との関係

このような連続鑄造材の凝固組織の特徴は基本的には連続鑄造の凝固の特性に依存するものであろう。図2に示した凝固距離に対する樹枝状晶アーム間隔の関係に現われる屈折は、図4に示すごとく二つの凝固速度係数をもつこと、とりわけ鑄型を過ぎてから強制冷却を受ける点にあると考えられる。

一、この結晶成長の不連続の程度は、各種の鑄造条件の中で鑄造温度と非常に密接な関係のあることを見いだした。図2の屈折した二つの直線のうち凝固初期の関係を示す直線(A)の勾配と切片は溶鋼の過熱度で非常に良く整理できる。溶鋼過熱度を溶鋼組成から計算で求めた各4ヤージの液相線温度とタンディッシュ内溶鋼温度から求めて、図5に示した。溶鋼過熱度が大きい程直線(A)の勾配は大きくなり、溶鋼過熱度にかかわらずほぼ一定値を示す凝固後期の直線(B)の勾配に近づき、二つの直線は一本の滑らかな関係を示すようになる。

鈴木ら⁸⁾によれば樹枝状晶の二次アーム間隔(S)は、平均冷却速度(R)に依存することが報告されており、両者の関係は次式で示される。

$$S = 0.0709 \cdot R^{-0.386} \dots\dots (1)$$

ここで平均冷却速度(R)は次式で表わすことが出来る。

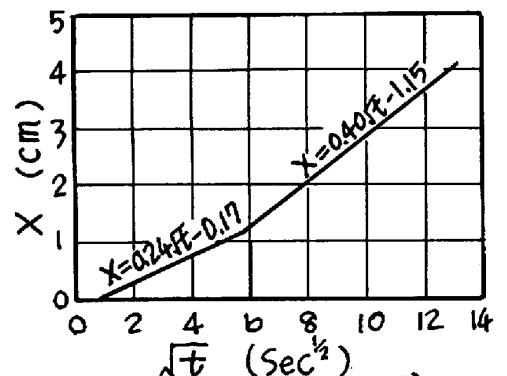


図4 連続鑄造の凝固速度³⁾

$$R = \frac{\Delta F}{t_s - t_e} \dots (2)$$

ここで、 t_e, t_s は各々液相線温度、固相線温度に到達するまでの時間、 ΔF は凝固温度範囲である。

溶鋼過熱度が大きいと(2)式の固液共存の時間が小さくなるので、樹枝状晶二次アーム間隔は小さくなる。このような溶鋼過熱度の影響は凝固の初期において特に大きいと考えられ前述の関係は良く説明できる。

すなわち、樹枝状晶二次アーム間隔が凝固距離に対して二つの直線関係を示すのは、連続鋳造の凝固特性によるものであるが、溶鋼過熱度を大きくすることによって凝固初期の樹枝状晶二次アームの間隔が小さくなり、強制冷却を受ける時期の結晶成長状況に近づくためであると考えられる。

7. 非金属夹杂物集積の対策

以上の結果から、X-Zoneへの非金属夹杂物集積に対する対策としては、鑄片凝固の全期を通して結晶の成長を連続的にすすべし、すなわち、鑄込温度を高くすることが有効であることが判明した。

なお、一方で、連続鋳造材ではセンターポロシティ、偏析が重要な問題であり、これについては鑄込温度を低くして等軸晶域を拡げる必要のあつことが既に明らかにされており、各鋼種の品質に対する要求に対応した鋳造条件の選択が必要である。

参考文献

- 1) 森, 田中, 平居 : 鉄と鋼, 第56年 (1970) P.1824
- 2) 鈴木, 鈴木, 野崎 : 鉄と鋼, 第56年 (1970) P.S.272
- 3) 川和, 永岡, 根本 : 鉄と鋼, 第56年 (1970) P.S.269
- 4) 荒木 : 鉄と鋼, 第56年 (1970) P.S.265
- 5) 鈴木, 長岡 : 日本金属学会誌, 第33巻 (1969) P.658
- 6) T.Z.Kattamis, J.C.Coughlin and M.C.Flemings : Trans. AIME, 239 (1967) P.1504
- 7) 平居, 金丸, 森 : 鉄と鋼, 第55巻 (1969) P.S.85
- 8) 鈴木, 鈴木, 長岡, 若田 : 日本金属学会誌, 第32巻 (1968) P.1301

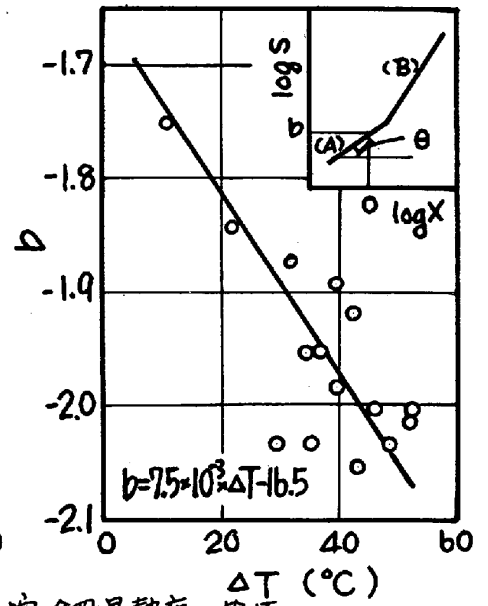
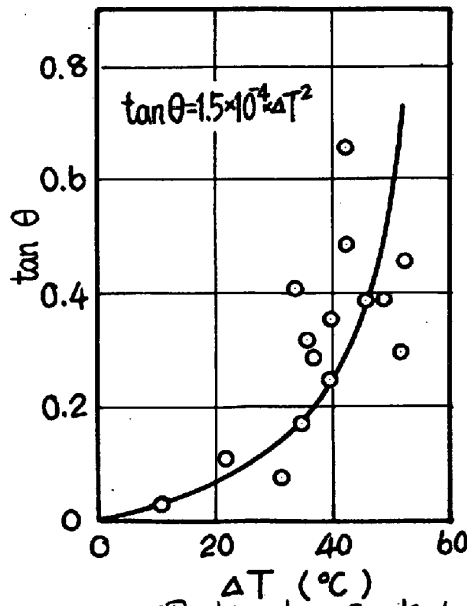


図5 tan theta, b と溶鋼過熱度の関係