

討11 大断面連鑄ブルームのV状偏析形成機構

住友金属(株) 和歌山製鉄所 杉田 宏 友野 宏 ○人見康雄
 浦 知 寺口彰俊 岩田勝吉
 中央技術研究所 安元邦夫

I 緒言

大断面連鑄ブルームは、その特徴として、充分厚い等軸晶帯が形成され、少なくとも横断面においては、スラブにみられるような中心偏析線は認められず、マクロ偏析はきわめて良好である。しかしながら、縦断面上には著しいV状偏析が観察され、通常の圧延製品では問題にはならないまでも、耐HIC性鋼管や高級線材等を製造する場合には無視することは出来ない。ここでは、大断面連鑄ブルームの縦断面等軸晶帯中に観察されるV状偏析について、その実態を明らかにするとともに、その形成機構について、レオロジーの見地から検討したので概要を報告する。

II 実験方法

当所、Nos.1および2ブルーム連鑄機で鑄造したブルームの巾中央縦断面のサルファープリントから、V状偏析をマクロ的に取り扱い種々調査するとともに、V状偏析形状をシュミレートするべく、ポリエチレン粒子(2mmφ)を用いた、簡単な粒子模型実験も実施した。なお、主な鑄造条件は、Table 1に示す通りである。

Table 1. Casting conditions

Steel grades	[C] : 0.19 ~ 0.54 %
	[P] : 0.020 ~ 0.030%
	[S] : 0.012 ~ 0.016%
Super heat	24 ~ 44 °C
Casting speed	0.33 ~ 0.54 m/min
Section size	370 × 600 mm

III 調査結果および考察

1. V状偏析の実態

(1) V状偏析線の形状 ; V状偏析は、鑄片縦断面等軸晶領域にのみ観察され、Fig. 1に示すように鑄造方向に向かってV状を呈し、かつある一定の周期性をもつ。

この形状を示す一つの指標として、V状偏析が鑄造方向と交叉する角度 θ_1 , θ_2 をとると、 θ_2 については等軸晶厚の増加、あるいは鑄造速度の低下とともに小さくなる傾向がみられる(Fig. 2)。V状偏析は、マクロ的には鑄片上・下面側でほぼ対称とみなすことが出来るが、V状偏析位置に差が認められ、上面側では、柱状晶/等軸晶境界部からすぐに形成されるのに対し下面側では、やや遅れて形成される(Fig. 3)。

同様に、上記 θ_1 にも差が認められ、上面側に対し下面側の方が小さくなる(Fig. 4)。

これらはいずれもV状偏析が形成される連鑄機内位置での鑄片の傾斜の影響と考えられる。

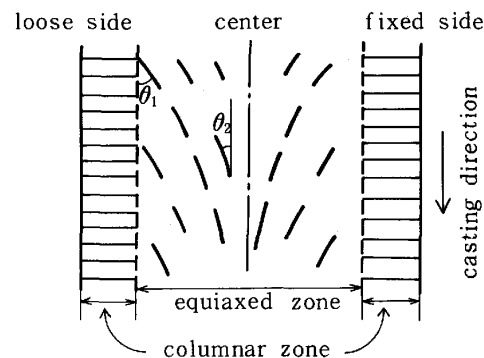


Fig. 1 Schematic illustration of V-type segregation.

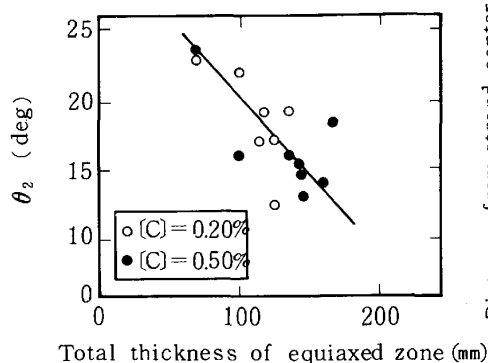


Fig. 2 Effect of equiaxed zone on θ_2

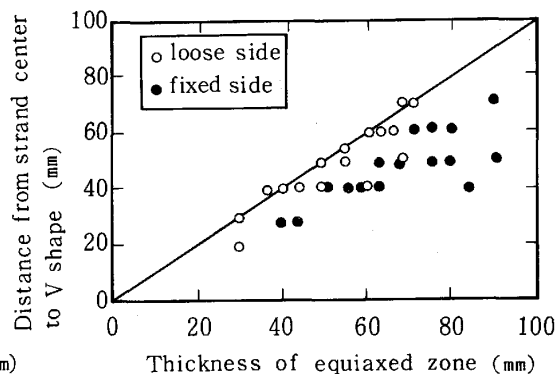


Fig. 3 Location of the farthest V shape.

また、 θ_1 は鋼種、鑄造速度、溶鋼過熱度に依存することなく常にほぼ一定であり (Fig. 4)、V状偏析の形成機構を考察する場合の重要なポイントとなる。なお、V状偏析は鑄造開始直後の鑄片には観察されず、定常鑄造状態に達すると同時に、その形成が始まることも上記同様、重要なポイントであろう。

(2) V状偏析発生密度；特に顕著なV状偏析について、その単位面積当りの発生密度を求めた結果、鑄造速度の低下、あるいは等軸晶厚の増加とともに発生密度は高くなり、かつ発生周期は短くなることがわかった (Fig. 5)。

(3) V状偏析部内の偏析度；V状偏析部を直交したEPMA線分析結果について、高炭素鋼の例を Fig. 6 に示す。

最大偏析度は [P] の場合で約 50、[Mn] で約 2 に達し、等軸晶の生成しない場合の中心偏析部とほぼ同等の偏析度を示すことがわかり、前述した耐 HIC 性、あるいは高級線材等に対し、V状偏析が無視し得ないことがうかがえる。

ちなみに、V状偏析部相当位置における柱状晶領域でのデンドライト樹間部の最大偏析度は、[P] の場合、約 5~6、[Mn] で約 1.4 にしかすぎない。

2. V状偏析形成機構

(1) 粒子模型実験；V状偏析はその形態から、あ

たかも容器から流出する粉体の挙動を連想させるものであり、最終凝固位置での堆積等軸晶粒を粉体とみなして、簡単な粒子模型実験を行ないシュミレーションを試みた。その結果、容器壁の傾斜の有無にかかわらず容器底の中央部、言いかえれば、軸芯部の一ヶ所から粒子が流出する場合に、もっとも良くV形状を現出することが明らかになった (Fig. 7)。このような粉体の流れを引き起こすドライビング・フォースは、実鑄片の場合バルジングよりは、シエルの凝固および、降温に伴う収縮によるサクションが主因と考えられる (Fig. 8)。

(2) V状偏析の形成；このような容器内での粒子の移動についての基本的な解析は、Walters¹⁾らによって手がけられ、最近では、浅井ら²⁾が塩化アンモニウムを用いた鋼塊の凝固の低温模型実験におけるV状偏析形成機構の解明に応用している。

今、浅井らと同様の手法で、等軸晶領域内のすべり面が鑄造方向となす角度 (Fig. 1中の θ_2) を求め

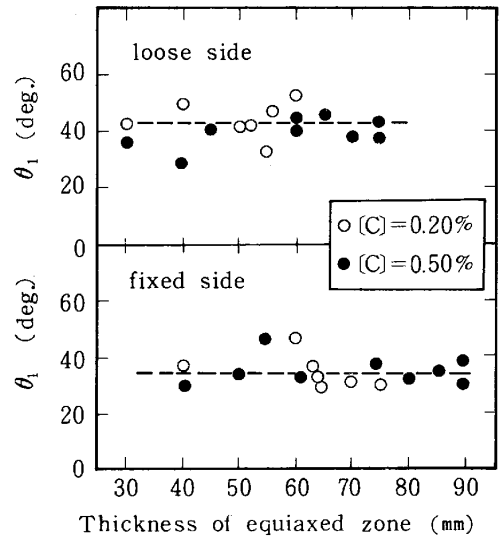


Fig. 4 Independence of θ_1 on equiaxed zone thickness.

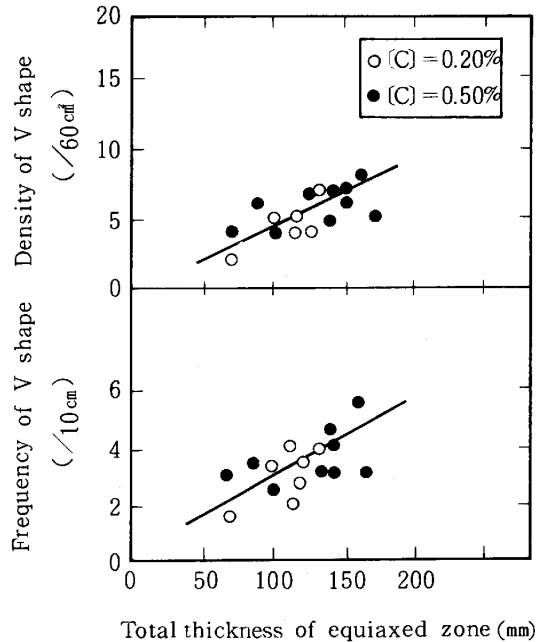


Fig. 5 Effect of equiaxed zone thickness on incidence of the V shape.

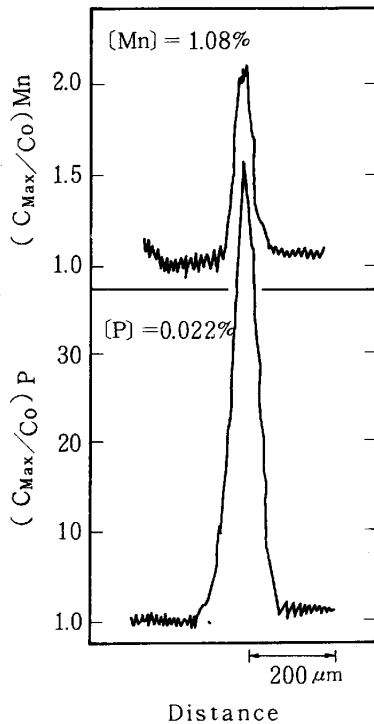
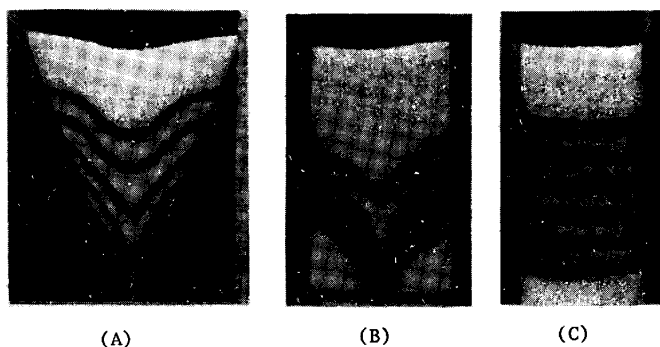


Fig. 6 Intensive segregation across the V shape.



(A) Discharge through bottom orifice (inclined wall)
 (B) Discharge through bottom orifice (vertical wall)
 (C) Descent of bottom plate (ditto)

Fig. 7 Flow characteristics of particles in conjunction with wall inclination and out-let configuration.

た結果 Fig. 9 に示すように、本系に固有の値と考えられる、ある特定の内部摩擦角、および壁面摩擦角において、実測値と計算値は、かなり良い一致を示し、等軸晶厚によるV状偏析の形態変化をもよく説明することが出来た。

すなわち、最終凝固位置近傍に堆積した等軸晶粒は、主として鑄片の収縮にもとづく強いサクションによって、鑄片中心部に向かって移動させられ、Fig. 9 に示される、ある特定の充填密度（または、広義の固相率）をもった面を形成する。そして等軸晶の粒間に存在する濃化残溶鋼は、上記面に沿って流動、集積することによって、明瞭なV状偏析線を形成するものと考えられる。

(3) V状偏析の周期性；前項において、V状偏析の形成は、最終凝固位置近傍において、等軸晶粒を粒子としてとらえ、その挙動を大略説明出来ることを明らかにした。ここでは、レオロジー的アプローチをさらに発展させ、V状偏析が周期的に形成される機構について考察する。

一般に粉体が容器から流出するに際しては、

- (a) 粉体の高さに無関係な一定の速度の定常的な流れと、
- (b) 時間とともに同じ状態をくり返すような脈動的な流れ、

の二つが存在し、(a)のタイプは、個々の粒子間に摩擦が作用するような粉体に、(b)のタイプは、粒子間に摩擦以外の力、すなわち付着力や凝集力などが作用する、いわゆる付着性粉体に特徴的な流れであることが知られている。今、ここで取り扱っている最終凝固位置近傍におい

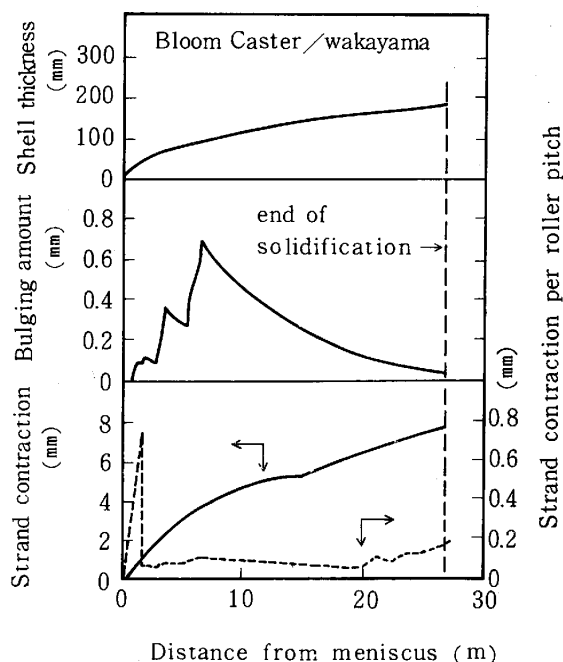


Fig. 8 Effect of strand contraction compared to strand bulging.

(Casting speed; $0.5 \frac{m}{min}$, K-factor; $25 \frac{mm}{min^{1/2}}$)

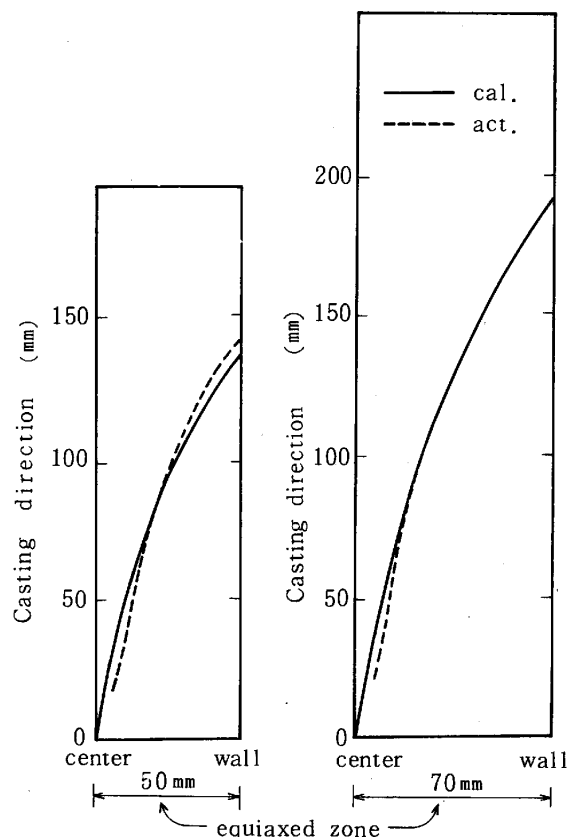


Fig. 9 Calculated V shape compared to actual observation.

て、等軸晶粒は典型的な付着性粉体とみなしてよく、以下高見³⁾の手法にしたがって、脈動現象を解析する。

簡単のために、鑄片軸芯部の等軸晶域を柱状晶の壁にかこまれた、円筒状の粉体の集団であると仮定する。つまり、円筒の下面出口上に Fig.10 に示すような、任意の高さの粉体集団、すなわち半径 R、高さ y の粉体柱を想定し、その粉体柱が流出し始める時の力のつりあいを考える。

すなわち、粉体は出口の所で、ある臨界の高さ以上になると、その柱自身の重さが壁面の剪断付着強度 (Cs)、上底面の垂直引張り強度 (CT) にうち勝って流出し、その後はまた、その流出した円柱の空隙をうめるべく、上部から粉体が落下して、粉体の柱を形成し同様の現象をくり返して行くものと考ええる。高見によれば、粉体が集団となって流出を始める粉体柱の高さ y は(1)式で与えられる。今、簡単のために CT = Cs とみなすと(2)式を得る。

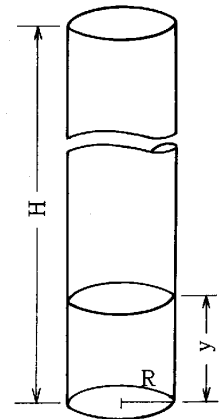


Fig.10 Premise for calculation of periodic flow from a cylinder.

$$y = \frac{C_T}{\rho g - \frac{2}{R} C_s} \dots\dots (1) \quad y = \frac{C_T}{\rho g - \frac{2}{R} C_T} \dots\dots (2)$$

(ρ ; 等軸晶粒の密度、 R ; 等軸晶領域の半径)

ここで、CT をパラメーターとして、y、つまり等軸晶粒臨界堆積高さを求めると、 Fig.11 のようになり、実鑄片のサルファープリントから読み取った V 状偏析の形成周期への等軸晶厚依存性をほぼ定量的に説明することが出来た。

さらに本図から推定される CT は、10 kg/cm² 前後であり、高温引張り試験による固相線近傍での鋼の引張り強度とオーダー的に一致しており、このようなレオロジー的アプローチによって、V 状偏析の周期性をほぼ説明できるものと考えられる。

IV 結 言

大断面連鑄ブルームの V 状偏析について、その実態をもとにレオロジー的手法を用いて、V 状偏析形成機構の解明を試み、ほぼ実現象と一致することを確認した。

(参考文献)

- 1) J. K. Walters ; Chem. Eng. Sci, 28 (1973) P13
- 2) 浅井, 井上, 磯部, 鞭 ; 学振 19 委第 3 分科会, 凝固現象協議会提出資料
19 委 - 10321, 凝固 - 291 (昭和 56 年 2 月)
- 3) 高見 ; 日本レオロジー学会誌 Vol. 10 (1982) P. 43

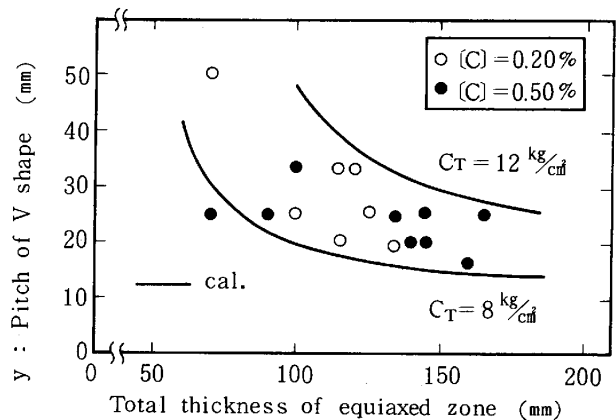


Fig.11 Calculated pitch of V shape formation compared with observation.