

討13 連铸スラブ中心セミマクロ偏析の評価方法，軽減対策および製品特性に及ぼす影響

川崎製鉄 技術研究所の北岡英就 藤村俊生 野崎努 垣生泰弘
千葉製鉄所 柿原節雄 馬田一 白石昌司 谷川治

1. 緒言

連铸タ片の中心偏析は電磁攪拌の適用により，サルファー・プリントで判断できるマクロ偏析は大巾に改善された。しかし，一部高級鋼においては小型のセミマクロ偏析が品質性状に影響を及ぼすため，一層の中心偏析対策が必要となってきた。今回，連铸スラブのセミマクロ偏析に関し，その評価方法と各種改善対策の効果について検討したので以下に報告する。

2. セミマクロ偏析の評価方法

Fig.1に示すように，連铸スラブ幅方向の $\frac{1}{2}$ と $\frac{1}{4}$ 幅の位置で厚み方向（C断面）とスラブ長辺面に平行な厚み中心面（Z断面）から試料を採取した。この試料をマクロアナライザ¹⁾によって被検面積 $40 \times 40 \text{mm}^2$ の Mn および P 濃度を Table 1 に示す条件下で測定した。セミマクロ偏析のサイズ³⁾を考慮して測定ビーム径は $50, 100 \mu\phi$ とし， 300μ 以上の偏析粒を対象とした。

マクロアナライザによる偏析部の測定例を Fig.2 に示す。上段の写真は全測定範囲の濃度を輝度変調してディスプレイした濃度分布図，下段は指定した範囲を積分した分析結果の模式図である。C断面サンプルでは幅方向の全測定点の濃度の平均値を厚き方向に表示し，Z断面サンプルでは 100μ 幅の線分析値を表示した。

偏析の評価は，Fig.2 下段に示すようにC断面の場合，分析結果から偏析部の厚み W_i と最大偏析度 C_{max}/C_o ，Z断面の場合，5ヶ所について各線分析結果から求めた偏析粒の大きさ d_i とその粒の最大偏析度 C_{max}/C_o により行なった。

C断面サンプルの測定結果から求めた偏析部の厚みと最大偏析度の関係を Fig.3 に示す。バラツキは大きいが偏析部の厚みが広いほど最大偏析度は大きい傾向がみられる。

次に，Z断面サンプルについて，偏析粒径と最大偏析度の関係を Fig.4 に示す。P および Mn とも偏析粒径と最大偏析度は直線関係にあり，粒径の増大にともなって最大偏析度は増加する。偏析度と粒径の回帰式の勾配は成分によって異なり，P は Mn の約16倍である。本法によるC断面の測定結果は従来の厚み方向 0.5mm 毎の湿式分析結果，Z断面での測定結果はE.P.M.Aによる定量分析結果とほぼ一致している。

以上より，本評価法の信頼度は高く，かつ短時間で広範囲にわたって測定でき，セミマクロ偏析の定量化に対して有効な方法であるといえる。

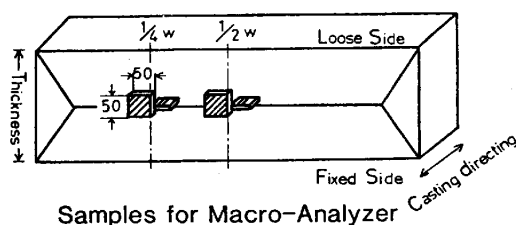


Fig.1 Sampling procedure.

Table.1 Measuring conditions

Sample position	Beam dia	Scann pitch	Number of measured points	Integral time
C-cross section	$100 \mu\phi$	100μ	16×10^4	20 msec/point
Z-cross section	$50 \mu\phi$	50μ	64×10^4	10 msec/point

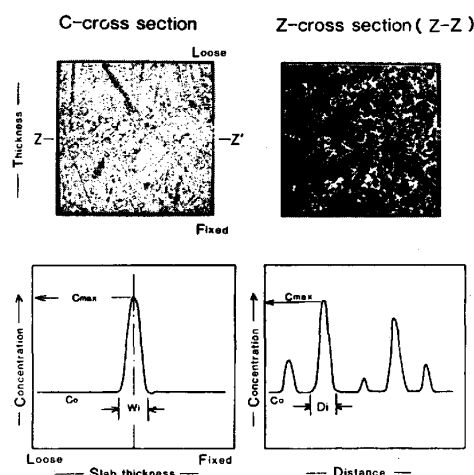


Fig.2 Examples of the result of Macro-Analyzer line analysis.

3. セミマクロ偏析と鑄造条件の関係

前記セミマクロ偏析評価方法を用いて各種の偏析改善対策について、以下に調査・検討した。

3.1 実験方法

厚板向および耐HIC鋼を対象に千葉製鉄所 No.2 スラブ連鑄機では低P溶鋼による高純化実験を、同No.3 スラブ連鑄機では Table 2 に示すように凝固末期攪拌⁴⁾と軽圧下鑄造⁵⁾実験を行った。凝固末期電磁攪拌はメニスカス下 10.4 m の位置(一部は同 5.4 m の位置での二段攪拌)で実施し、クレータ先端と電磁攪拌域との相対関係は鑄造速度を変えることにより制御した。一方、軽圧下鑄造はクレータ先端域において、0.8 mm/m のロール絞り込みにより行った。

3.2 結果と考察

3.2.1 凝固末期電磁攪拌と軽圧下鑄造の比較

凝固末期電磁攪拌は Fig.5 に示すようにマクロ偏析(I.C.S.)⁴⁾ 軽減に対して適正条件が存在する⁴⁾。さらに、セミマクロ偏析に対する効果を究明する目的で攪拌時の液相率 f_L の異なる3水準のスラブZ断面について偏析粒径と発生頻度を調べた結果を Fig.6 に示す。偏析粒径は攪拌時の液相率の減少にともない小型化し、マクロ偏析指数の低い $f_L = 0.2$ の場合、1 mm 程度の偏析粒が多く2 mm 以上の偏析粒の発生はない。従ってセミマクロ偏析は、偏析粒径の減少にともない改善されることが示唆され、Fig.5, 6 より $f_L = 0.2$ での攪拌が適正であると考えられた。

そこで、 $f_L = 0.2$ の条件下で実施した凝固末期攪拌の場合と、軽圧下鑄造の場合の比較を行った。Fig.7 に鑄片の凝固組織およびマクロアナライザーによるP, Mn 濃度分布図を示す。

C断面では電磁攪拌の場合、偏析粒は厚み方向に分散しているのに対し、軽圧下鑄造の場合には鑄片上面側の柱状晶と下面側の分岐柱状晶に囲まれた線状の偏析が観察される。一方、Z断面では電磁攪拌の場合、クラスター状に成長した等軸晶粒間に偏析粒が独立して存在する。これに対し、軽圧下鑄造の場合、ネット状に連続した偏析帯が観察され偏析形態が大きく異なる。

Fig.8 にZ断面での各々の偏析粒径と最大偏析度の関係を比較して示す。

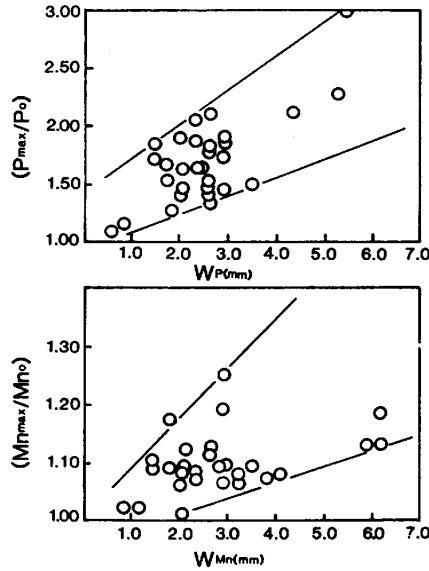


Fig.3 Relation between maximum segregation ratio and thickness of segregation zone

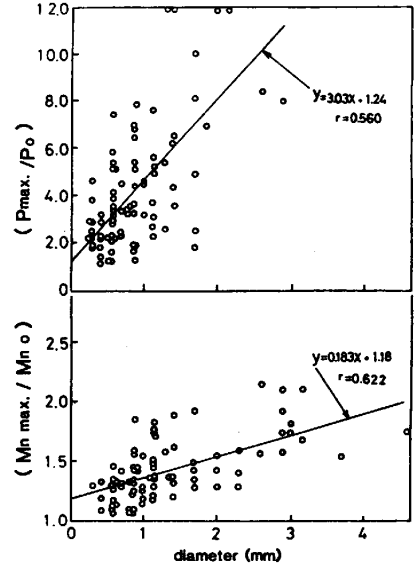


Fig.4 Relation between maximum segregation ratio and diameter of segregation grain

Table.2 Casting conditions

Machine	Strand No	experimental condition	Superheat in tundish (°C)	Casting speed (m / min)	Slab thickness (mm)
CHIBA 3 CCM	1	E.M.S	10-40	0.7-1.3	230
	2	Soft-Reduction (0.8mm / m)		1.0-1.3	230

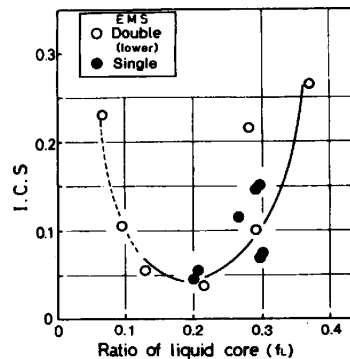


Fig.5 Relation between Index of macrosegregation degree and stirring conditions of EMS

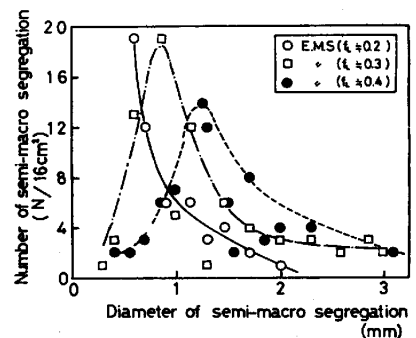


Fig.6 Distribution of diameter of segregation grain

軽圧下を受けたスラブの偏析粒は 1 mm 以下のものが大半を占め電磁攪拌材に比較して小さい。しかし、偏析粒内の最大偏析度は P および Mn z-のいずれも電磁攪拌材に比較して軽圧下 casting 材が大きい。

以上から、セミマクロ偏析の改善に対しては適正な攪拌条件下での凝固末期電磁攪拌が有効であることが確認できた。

3.2.2 その他の铸造要因との関係

スラブ C 断面における等軸晶率と偏析部の厚みとの関係を铸造速度で層別して Fig.9 に示す。偏析部の厚みは等軸晶率の増加にともなって減少し、低速铸造ほど小さい傾向にある。これはセミマクロ偏析に対して低温・低速铸造が効果的であるとの報告⁶⁾と一致する。

Fig.10 は軽圧下铸造の際の溶鋼過熱度 ΔT と偏析部の厚みの関係を铸造速度で層別して示す。偏析部の厚みに対する ΔT の影響はバラツキが大きく今回の実験では明確な結果は得られなかった。

4. 各種対策と製品特性

4.1 H I C 特性におよぼす低 P 化の効果

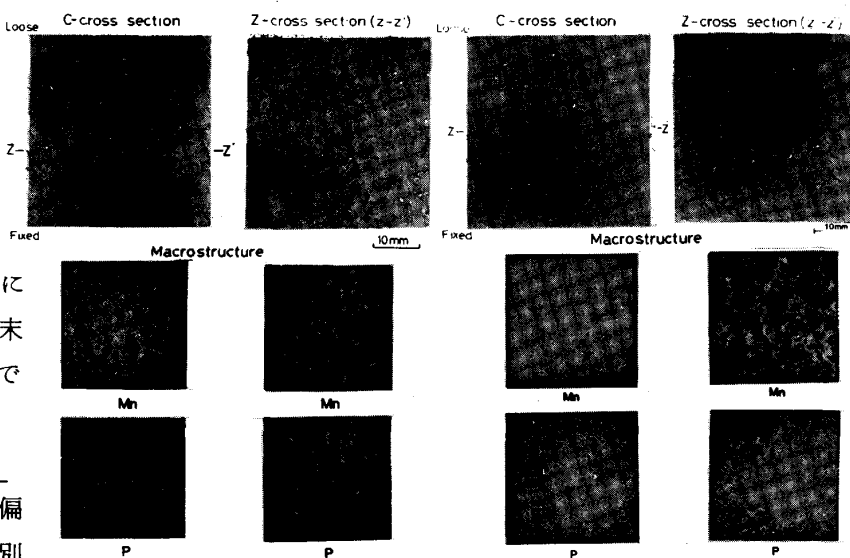
H I C 発生に対して中心偏析部の P 濃度の影響をみるため母溶鋼の P 濃度が 0.005% と 0.010% の铸片を比較した。

製品における H I C 指数と硫化物形態制御度の指標となる ACR⁷⁾ の関係を P 濃度で層別して Fig.11 に示す。

P 濃度が 0.005% の場合、H I C 指数は A C R の増加につれ減少し、A C R ≥ 1.0 で大巾に改善されている。これに対し、P 濃度が 0.010% の場合 A C R ≥ 1.0 でも H I C 発生を抑止できていない。これは偏析部の P 偏析が大きいことによる圧延後の異常組織の発生に原因する。⁸⁾

P 濃度が 0.005% の場合の H I C 指数とスラブ中心偏析部の P 濃度の関係を Fig.12 に示す。偏析部の P 濃度が高いほど H I C 指数は増加する。

図より、許容 H I C 指数を得るには偏析部の P 濃度を約 0.01% 以下にする



E. M. S
Fig.7 Macro-structure and result of macro-analyzer

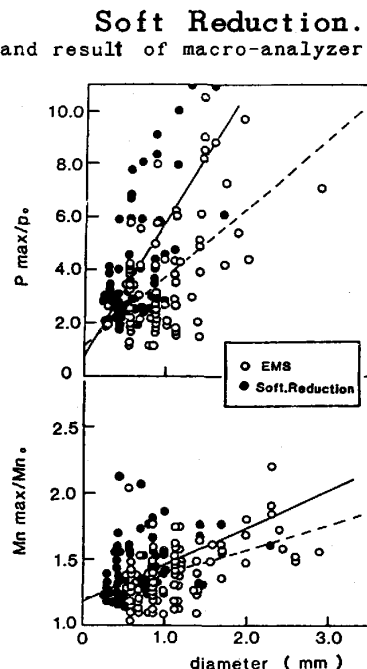


Fig.8 Relation between maximum segregation ratio and diameter of segregation grain

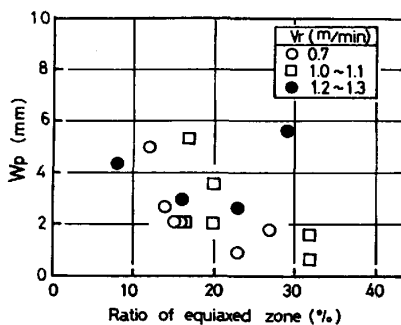


Fig.9 Relation between ratio of equiaxed zone and thickness of segregation zone

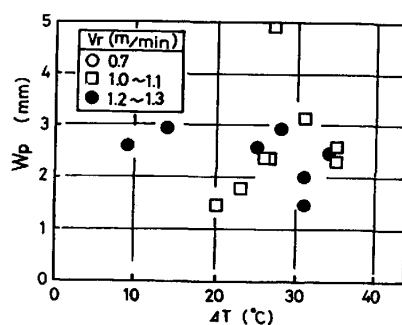


Fig.10 Relation between super heat and thickness of segregation zone

ことが望ましい。

4.2 凝固末期電磁攪拌と軽圧

铸造の效果

同一溶鋼を一方は凝固末期電磁攪拌 ($f_L = 0.2$ の条件), 他方は軽圧下铸造により製造した厚鋼板の H I C 指数と A C R の関係を Fig.13 に示す。軽圧下铸造材に比較して電磁攪拌材の H I C 指数は著しく改善され, 凝固末期攪拌が有効であることがわかる。

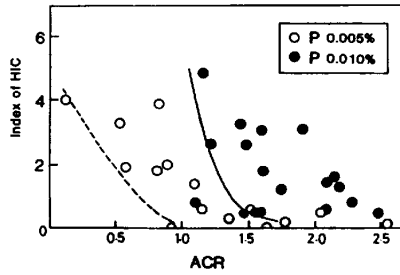


Fig.11 Influence of phosphorous content in steel on Index of HIC

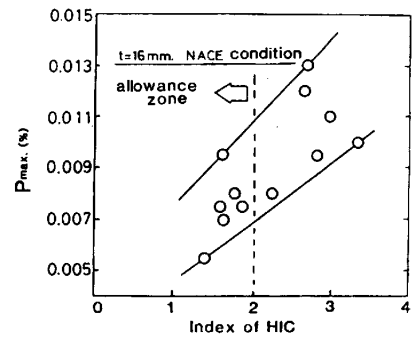


Fig.12 Relation between Index of HIC and Pmax in segregation zone

4.3 スラブ拡散処理による改善効果

偏析改善の手段としてスラブの拡散処理 (1250°C, 16hr) を行った。Fig.14 に処理前後のスラブ厚み中心面での偏析粒径と最大偏析度の関係を示す。1250°C×16hr の均熱拡散処理によって 1mm 以下の偏析粒が大巾に減少し, 大型の偏析粒内の濃度も低下する。

Fig.15 に厚み方向の P 濃度と拡散計算による計算値を対比して示す。1250°C×16hr の処理で P 濃度のピーク値は半減する。H I C 発生に対する効果に関しては拡散処理を行わないスラブに相当する鋼板では発生したが, 拡散処理鋼板では認められなかった。

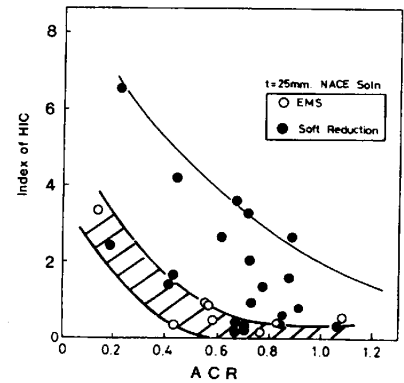


Fig.13 Effect of EMS and soft reduction on Index of HIC

5. 結言

連铸スラブの中心部セミマクロ偏析に関し, マクロアナライザーによる定量化, 铸造要因との関係および製品特性への影響を調査・検討し, 次の結果を得た。(1) マクロアナライザーによってセミマクロ偏析の定量化が能率よく行なえるようになった。(2) セミマクロ偏析改善, 耐 H I C 鋼の H I C 発生防止に適正攪拌条件下での凝固末期電磁攪拌が有効である。(3) 低 P 化 ($P = 0.005\%$) は H I C 発生防止に有効である。(4) スラブ拡散処理 (1250°C×16hr) もセミマクロ偏析改善, H I C 発生防止に効果的である。

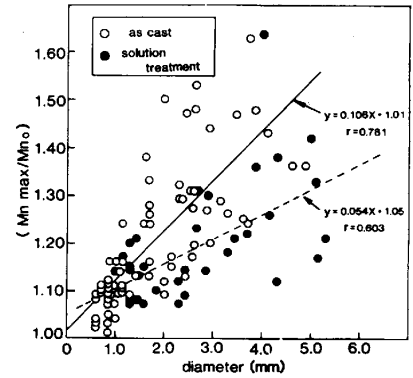


Fig.14 Effect of solution treatment of slabs

6. 参考文献

- 1) 土田, 菅原, 宮原, 石田, 石川 ; 鉄と鋼, 68(1982)S219
- 2) 森本, 安部, 鈴木 ; 鉄と鋼, 69(1983)S312
- 3) 三隅, 田中, 小椋, 荒木, 溝口 ; 鉄と鋼, 67(1981)S844
- 4) 北岡, 木下, 野崎, 垣生, 柿原, 馬田 ; 学振 19 委凝固現象, 58年2月
- 5) 中田, 土田, 村上, 小沢, 梶谷, 栗林 ; 鉄と鋼, 68(1982)S871
- 6) 北村, 宮村, 坂口, 浜口 ; 鉄と鋼, 69(1983)S264
- 7) 拜田, 江見, 河西, 内藤, 森脇 ; 鉄と鋼, 66(1980)P354
- 8) 中井, 戸塚, 平野, 寺田 ; 鉄と鋼, 68(1982)S1284

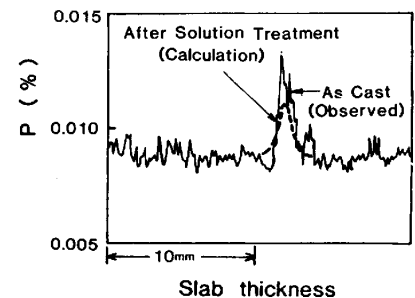


Fig.15 Change of phosphorous contents in slabs after solution treatment