

討14 連铸片偏析におよぼすバルジング量および凝固組織の影響

新日鐵・名古屋製鐵所 大西保之 新美英俊 三輪英一
吉田隆春 猪狩繁範 北峯誠二

同・名古屋技術研究部 ○佐伯 毅 井村 裕

1. 緒言 連铸々片の偏析に関して、凝固現象面からの研究や、操業条件、連铸機の特性を要因に取り入れた研究など、既に多くの報告がなされている。中心偏析を低減するための操業条件としては一般的には低温铸造によって、凝固組織を等軸晶化する方向が提唱されているが、これとは逆に、高温铸造により、デンドライト凝固を行う方が良いと提唱している報告もある⁽¹⁾。機械条件として重要な条件は、バルジングを防止することであり、铸片支持ロール間隔を狭めたり、ロールを分割する方策⁽²⁾が取られており、一方、凝固組織の等軸晶化のために、電磁攪拌技術が開発され、普及し、さらに、铸片のロールによる軽圧下技術⁽¹⁾⁽³⁾が開発された。このように諸方式の対策が取られ、偏析の減少を見たとはいえ、なお、偏析低減のための技術思想として不明確な点が多い。

著者らは、中心偏析をバルジング量と凝固組織との関係において定量的に評価するため、まず、中心偏析シミュレーターによる試験を行い、この結果を踏まえて、実連铸機に稠密分割ロールセグメントを設置して、偏析低減試験を行った。これらの結果について報告する。

2. 試験方法 中心偏析シミュレーターの概略図を図1に示す。本試験機においては、スラブ形状をした箱型の铸型にポットを介して溶鋼を注入する。注入後、ポットに蓋をして加圧し、その圧力によって铸片にバルジング力を付与し得るようにしている。また、箱型铸型の外面には所定深さ（0～1.2mm）の溝が铸型巾方向に掘ってあり、ロールは、铸型表面の形状にそって铸片を圧下する。铸片は図1の左右方向に往復運動するがこの間に3対のロールによって支持されており、このようにして凝固した铸片の中心部には、実铸片と類似の偏析が生成する。

次に、実機連铸機にて試験した稠密分割ロールの概要を既設ロールと比較して、表1に示す。試験に供した連铸機は名古屋製鐵所1号連铸機であり、そのNo.1ストランドの11, 12セグメントを7対ロール/Seg, 各ロール3分割方式の試験セグメントとした。No.2ストランドは従来通りとし、これら両ストランドの铸片の比較によって、稠密分割ロールの効果を判定した。試験铸造に際し、铸片のバルジング量を図2に示すような位置検出器により経時的に測定した。铸造条件を表2に示す。

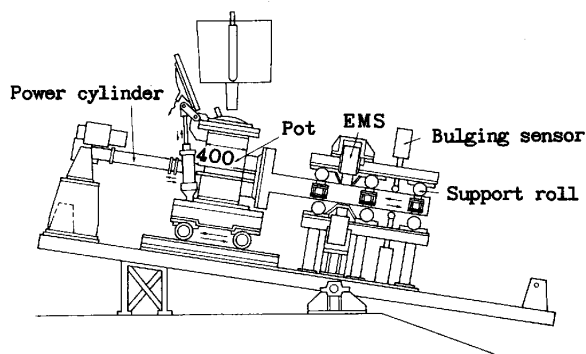


Fig. 1 Schematic view of simulator of central segregation

- Internal dimension of mould 80mm thickness×215 width×1700mm length
- Roll pitch=500mm, •Stroke=500mm
- Amount of steel 270kg

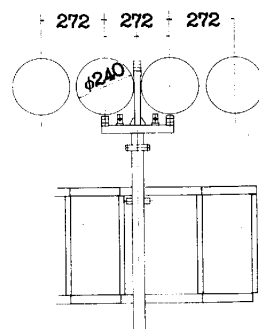


Fig. 2 Schematic view of bulging sensor

Table 1 Specification of common roll, short-pitch divided roll

	Common roll (horizontal zone)	Short-pitch divided roll
Roll dia.(mm)	420	240×3 div.
Roll pitch (mm)	471	272
Setting position(m)	—	21~25
Roll stand length(m)	—	4

3. 試験結果

3.1 中心偏析シミュレーター試験結果

前述の方法で製作した鋳片の中心偏析は、通常は、鋳片中心部までデンドライト組織を呈す。その偏析強度をサルファープリントで判定し、評点化して、図3-a)に示す。

中心偏析はポットの内圧と鋳片表面段差の増加につれて、強くなることがわかる。しかし、内圧が $6 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$ にかかった状態であっても、鋳型表面が平滑であれば、偏析評点0.5程度の鋳片を得ることができる。また、バルジング量に対応する鋳片表面段差が0.2 mmのものは、0 mmの場合よりも偏析が急激に悪化する。すなわち200 μm のバルジング量は中心偏析に大きな影響をおよぼすことがわかった。次に、鋳造組織を等軸晶化するために、鋳造中に鉄粉を重量比2.2%添加した試験を行った。結果を図3-b)に示す。凝固組織を等軸晶化することにより、鋳片の偏析はV状に変化すると共にバルジング感受性は小さくなること

がわかった。

3.2 連鋳片偏析と操業条件の関係

通常ロールを使用し、電磁攪拌を行わない場合の中心偏析の状況を写真1に示す。写真1-a)は腐蝕液として3% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 水溶液を用いた場合で偏析評価を行うに適した方法であり、これと対比して、凝固組織を写真1-b)に示した。電磁攪拌をかけないため、中心部にまでデンドライトが成長しており、鋳片中心部には線状の偏析が見られる。

通常ロール使用時に電磁攪拌を付与した場合の中心偏析の状況を写真2に示す。凝固組織は等軸晶化され、偏析形態は、線状ではなく、V状偏析に変化し、小さく分散していることがわかる。さらに、稠密分割ロールを使用し、電磁攪拌を付与したところ、写真3に示すような鋳片を得た。写真2に示す場合に較べて、V偏析も小さい。この3例の偏析状況を定量的に示すため、マクロアナライザー（以下M・Aと記す）で、鋳片巾方向中央部のL断面、鋳片厚み方向中央部分の40 mm×40 mmをMn, Pについて分析

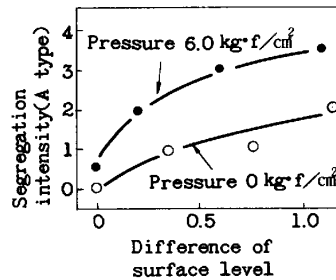
Table 2 Casting conditions

Test No.	(*1) Strand speed (m/min)		Temperature in tundish (°C)	EMS		Cooling water (°C/kg)
	No.1	No.2		on	off	
1	0	0	1.30	1552	0	1.92
2	0	0	1.30	1552	0	1.55
3	0	0	1.30	1539	0	1.92
4	0	0	1.30	1539	0	1.55

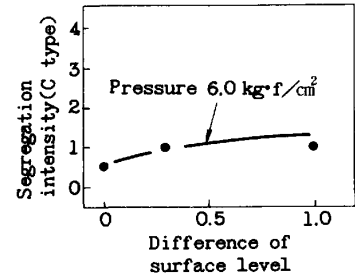
(*1) Short-pitch divided roll

(*2) Slab: width 1890mm, thickness 245mm

An example of steel analysis (%)	
C	0.15
Si	0.41
Mn	1.32
P	0.018
S	0.005

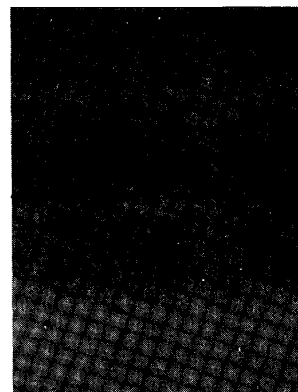


a) In the case of dendritic solidification

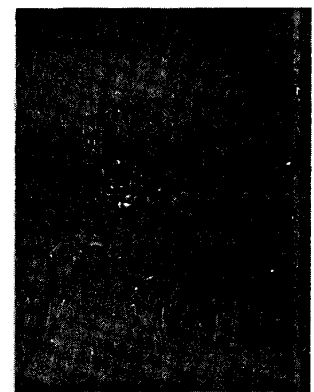


b) In the case of equi-axial solidification

Fig.3 Effect of solidification structure and bulging on segregation intensity.

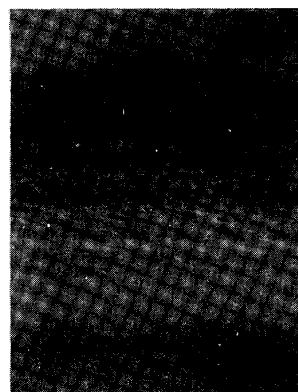


a) Etching, expressing segregation

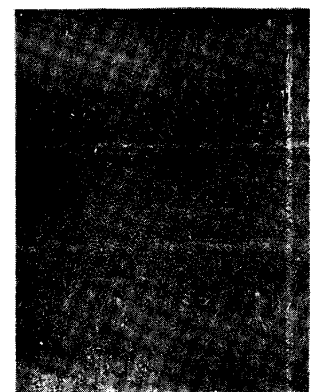


b) Solidification structure

Photo. 1 Segregation pattern of slab. [common roll, non-EMS,] [slab center, L section]



a) Etching, expressing segregation



b) Solidification structure

Photo. 2 Segregation pattern of slab. [Common roll, EMS, slab] [center, L section]

した。Mnの分布状況を写真4～6に示す。

写真1に対応する写真4では中心部分に偏析が集中しており、この偏析の繋がりが鋼材材質に悪影響を及ぼすものと予想される。写真5,6はそれぞれ写真2,3に対応するものであり、偏析はV形状に発生するが分散している点が特徴と言える。稠密分割ロール使用時には、写真6のように、偏析は小さく分散する。図4に通常ロール材と稠密分割ロール材について所定Mn, P濃度とその濃度以上の面積率との関係を示す。稠密分割ロールの場合には、P, Mnいずれについても、高濃度部分の比率が小さく、偏析が改善されていることが分る。

3.3 点状偏析の実体

電磁攪拌鋳片の偏析は点状偏析の群落体であることがわかったが、点状偏析内のMn, Pの濃度分布をEPMAで詳細に分析し、点状偏析の大きさと濃度との関係を調査した。図5に大きさの異なる3例について、点状偏析内の任意の位置におけるMnおよびPの偏析率の関係を示す。点状偏析 $200\mu\text{m}\phi$ のものはMnの偏析率で2.1, Pの偏析率で60にも達する。これより小さな点状偏析においては、Mnの偏析率も小さくなるが、Pにおいては大巾な低下が見られる。点状偏析部分が凝固する過程において、Pの固相側への拡散が起っていることを示唆するものである。点状偏析の形は鋳片中心部では円形に近く、V状偏析部では長く伸びた形状のものが多い。後者の方が前者に比較して、偏析率は低い。

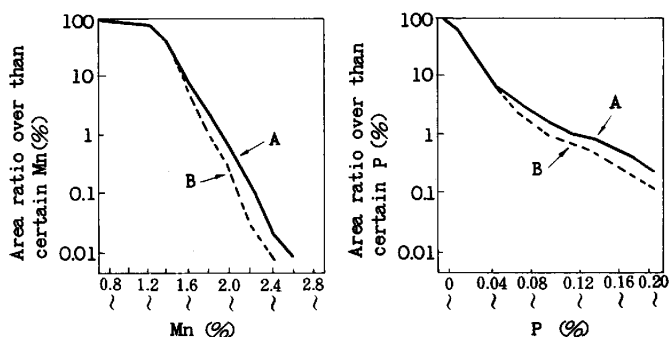
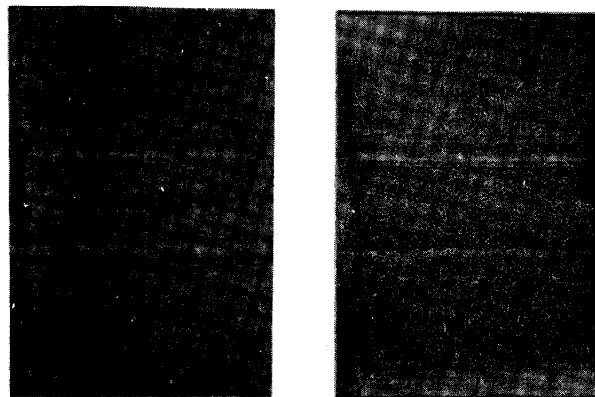


Fig. 4 Relation between Mn(%) and area ratio over than the Mn(%) at the middle part of slab, and same for P.

In the figure A: Common roll, EMS

B: Short-pitch divided roll, EMS



a) Etching, expressing segregation

b) Solidification structure

Photo. 3 Segregation pattern of slab.
[Short-pitch divided roll, EMS]
[slab center, L section]

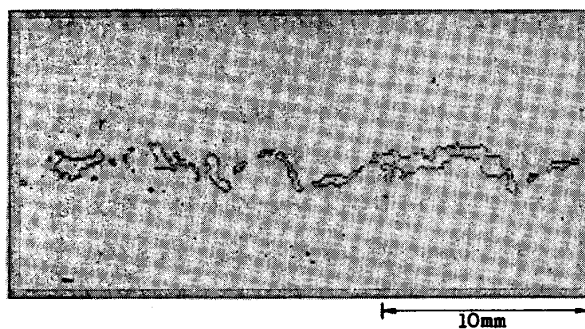


Photo. 4 Mn segregation ($\text{Mn}/\text{Mn}_0 > 1.32$)
(Common roll, non-EMS) (M.A analysis)
(Mn: Mn analysis of liq. steel)

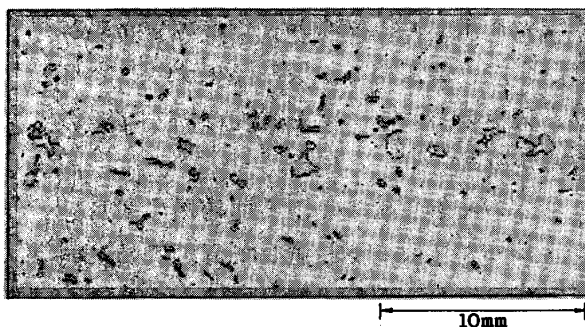


Photo. 5 Mn segregation ($\text{Mn}/\text{Mn}_0 > 1.32$)
(Common roll, EMS)

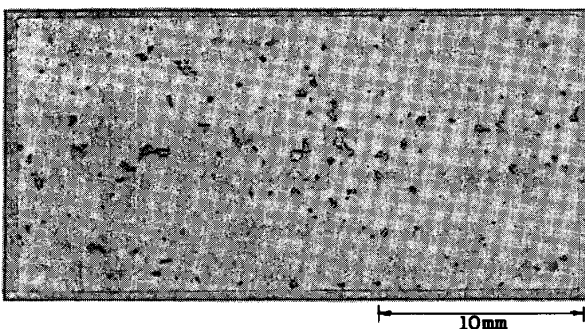


Photo. 6 Mn segregation ($\text{Mn}/\text{Mn}_0 > 1.32$)
(Short-pitch divided roll, EMS)

3.4 バルジング量測定結果

位置センサーを図2に示すように配置し、隣接するロール2本とそのロール間隙中央部における鋳片下面の位置を経時的に測定した。センサー位置を凝固後鋳片が通過する場合、即ち、バルジングを生じない場合の測定値を基準値ゼロとして、未凝固鋳片通過時のバルジング量を求め、図6に示す。既設ロールの場合、バルジング量は平均100 μ m、最大250 μ mであり、稠密分割ロールの場合には測定誤差の範囲内でバルジングは検出されなかった。

3.5 鋳片偏析とバルジング量、凝固組織の関係

図7に試験鋳造条件とMn偏析面積率および最大偏析部面積の関係を示す。電磁攪拌をかけない場合(A, B)には大きな偏析を示し、電磁攪拌を付与した場合(C, D)にはこれが小さくなる。これらのうち、稠密分割ロールを使用し、電磁攪拌を行った場合(C)には、大きな偏析を生じず、かつ、その数も少ない。

すなわち、凝固組織を等軸晶化することは偏析を小さくする事に有効であり、さらに、バルジングを防止することは偏析粒の粗大化を防止する効果を持つといえる。

4. 結 論

中心偏析シミュレーターの結果から、中心偏析はバルジング量の増加につれて強くなり、バルジング量ゼロと200 μ mとでは大きな差があり、また、凝固組織を等軸晶化することにより、偏析のバルジング感受性は弱くなることがわかった。

これらの結果を踏まえ、実連鋳機に稠密分割ロールセグメントを設置して偏析低減試験を行ったところ、偏析の低減に顕著な効果を示した。

5. 参考文献

- (1) 楯, 石黒, 小森, 村上: 日本鋼管技報, 79(1978), P. 313
- (2) 飯田, 江本, 中井, 前田, 武, 小島: 川崎製鉄技報, 12(1980)3, P. 66
- (3) A. Perkins, M.G. Brooks, D.E. Humphreys: Contin Cast Steel, (1981) P.74

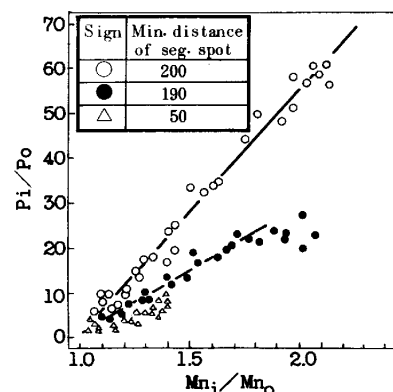


Fig. 5 Relation between Mn and P segregation ratios within spot segregation (EPMA, beam dia. 2 μ m ϕ)

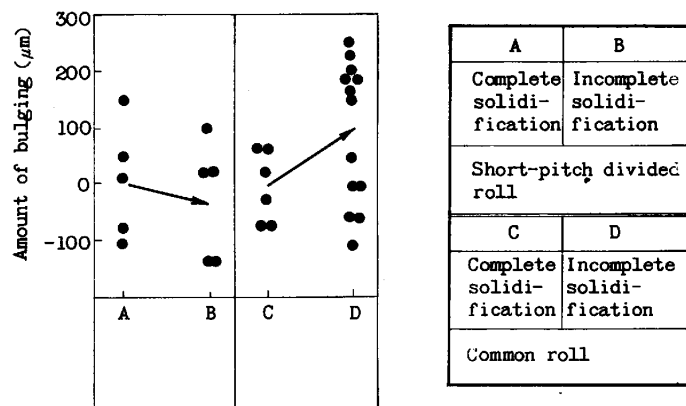


Fig. 6 Measurement of bulging.

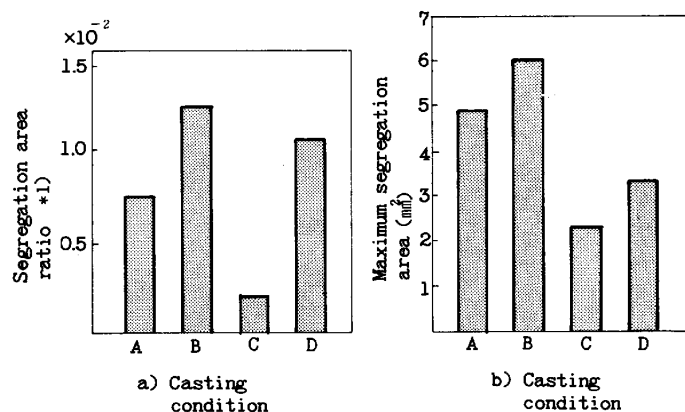


Fig. 7 Relations between number of segregation, maximum segregation area and casting condition.

	A	B	C	D
Short-pitch divided roll	○	○		
Common roll		○	○	
E M S		○	○	
off on			○	○

*1) Segregation area smaller than 1mm ϕ is not counted.