

© 1987 ISIJ

鋳型内電磁攪拌によるビレット鋳片の品質改善

技術報告

坂本 克己*・山本 泰五*・大川 博通*
 西 淳一*・初瀬 洋治*・森田 健一*

Quality Improvement of Continuously Cast Billets with In-mold Electro-magnetic Stirrer

Katsumi SAKAMOTO, Taigo YAMAMOTO, Hiromichi OHKAWA,
 Jun'ichi NISHI, Yoji HATSUSE and Ken'ichi MORITA

Synopsis:

In-mold electro-magnetic stirrers (M-EMS) have been installed at many plants for improvement of surface and inner quality of continuously cast strands, but applications of M-EMS to small billet casters are comparatively few. M-EMS's have been installed at the billet continuous caster at Funamachi Works in March 1983. The introduction of M-EMS has contributed greatly on the decrease of surface pinholes and longitudinal corner cracks, and the increase of equiaxed crystal zone of 135mm square billets for bars and wire rods.

1. 結 言

鋳型内電磁攪拌装置 (M-EMS) は、鋳片の表面および内部性状の改善を目的として、近年さかんに導入されているが、小断面ビレット連铸への適用例は比較的少ない。当社ビレット連铸では、線材および細物丸鋼用素材として、 $\phi 135$ mm 鋳片を生産しているが、小断面で分塊工程なしの1ヒート圧延プロセスであり、鋳片表面および内部性状に高品質が要求されるため、ブルーム連铸に引き続き¹⁾、M-EMSを導入した。本報告では、M-EMSによるビレット鋳片の品質改善効果について、その概略を報告する。

2. 操業条件と設備概要

溶製-鋳造プロセスは、転炉-RH真空脱ガス処理またはバブリング-ビレット連铸(6ストランド)で、ビレット連铸での鋳造鋼種は、軟鋼線材、硬鋼線材、磨棒、コールドヘッダー材、SC材などである。鋳造速度は、1.5~2.2 m/min、タンディッシュ内の溶鋼過熱度は、20~45°Cである。モールド内への注湯は、メータリングノズルを用い、潤滑はレプシードオイルであり、モールド内の溶鋼湯面制御は、 γ 線方式である。

Table 1. Specification of billet caster and M-EMS.

	Items	Specification
Billet caster (July 1977~)	Type	Sumitomo-concast S type
	Ladle capacity	105 (t)
	Tundish capacity	max 15 (t)
	Number of strands	6
	Casting radius	5 000 (mm)
	Machine length	9 350 (mm)
	Billet size	$\phi 135$ (mm)
M-EMS (March 1983~)	Type	Kobe Steel/ Rotelec (France) Revolutionary type
	Pole/Phase	2/3
	Capacity	max 400 A (RMS)
	Frequency	3~10 (Hz)

Table 1 にビレット連铸機と M-EMS の設備仕様を示す。

3. 品質改善効果

3.1 ピンホール (気泡)

鋳片表面および表皮下のピンホールは、圧延後の製品の表面疵となることがあり、有害欠陥の一つである。

Fig. 1 に、中高炭素鋼における M-EMS 処理の有無と鋳片のピンホール個数について、鋳片の段削り調査の結果を示す。段削り調査は鋳片表面から 1 mm ピッチで

昭和 60 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 61 年 4 月 21 日受付 (Received Apr. 21, 1986)

* (株) 中山製鋼所船町工場 (Funamachi Works, Nakayama Steel Works, Ltd., 1-1-66 Funamachi Taisho-ku, Osaka 551)

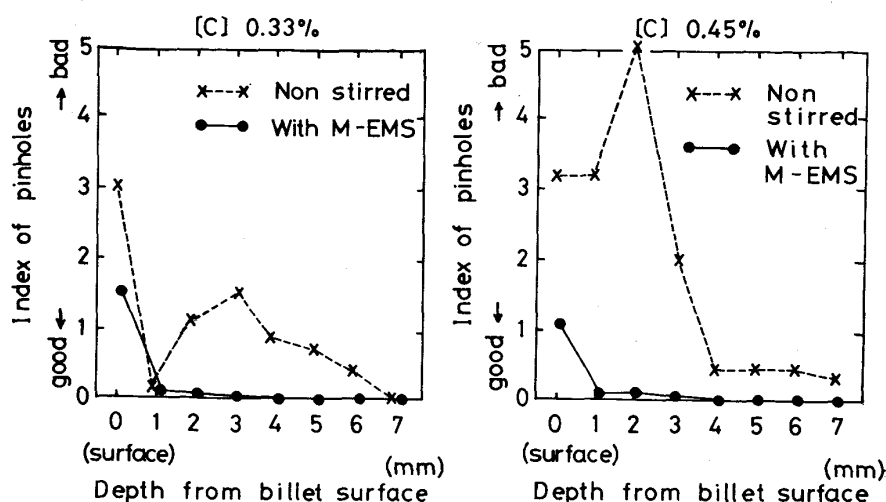


Fig. 1. Improvement of pinholes with M-EMS.

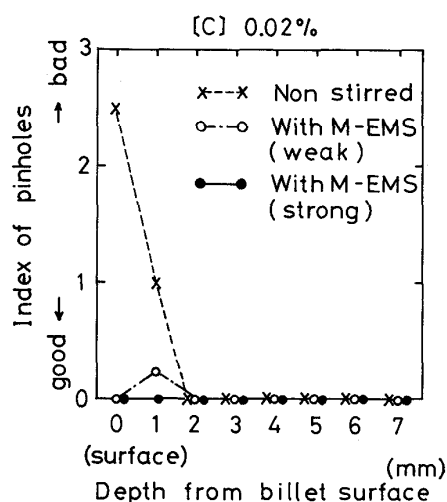


Fig. 2. Improvement of pinholes with M-EMS.

シェーパー切削し、おのおのの切削面で認められるピンホール個数を調べた。M-EMS 処理により、鋳片の表面、表皮下共、ピンホール個数が減少している。また Fig. 2 に示すように、M-EMS の攪拌強度が大きいほど、ピンホール低減効果は大きい。

M-EMS によるピンホールの低減については、多くの報告があり、溶鋼を流動させることにより、凝固界面での溶質濃化が低下し、ピンホールの発生限界酸素濃度が上昇すること²⁾、また、生成した気泡が凝固シェルにトラップされずに浮上分離するため⁴⁾と考えられている。

当社ビレット連铸では、 $[C] \leq 0.06\%$ の極低碳鋼種の鋳造は、従来不活性ガスによる断気鋳造、あるいはモールド内への Al 線添加により、ピンホールの低減を図っていたが、断気鋳造の場合は、溶鋼中の酸素濃度が高い場合 ($[O] \geq 100 \text{ ppm}$) にはピンホールが増加し、逆に酸素濃度が低い場合 ($[O] \leq 70 \text{ ppm}$) にはノズル閉塞の

Table 2. Example of chemical composition of super low carbon steel for wire rod.

(wt%)					
C	Si	Mn	P	S	sol. Al
0.01	tr.	0.20	0.020	0.020	tr.

操業トラブルが発生しやすく、またモールド内への Al 線添加は、発生するスカム除去のために十分な断気ができないことと、Al 線の添加が不均一になりやすく、Fe-Al 合金などの偏在による製品欠陥が発生することが問題であった。M-EMS の導入で、Al 線を添加せずに M-EMS 処理と断気鋳造を併用することによつて、Table 2 に示すような、 $[C] \leq 0.02\%$ の極軟線材や極低碳コールドヘッダー材などのピンホール低減と安定鋳造が可能になった。

3.2 オシレーションマーク深さ

オシレーションマークが深くなると、ラップ状の疵となつたり、オシレーションマークに沿った鋳片表面直下の割れを伴うことがあり、オシレーションマークを浅くすることは、鋳片の表面品質には好ましいと考えられる。

Fig. 3 に示すように、M-EMS 処理によりオシレーションマークは浅くなり、深さのばらつきも減少している。

M-EMS によりモールド内の溶鋼には遠心力が働いて、モールド壁に押しつけられるようになると同時に、湯面にうねりが生じて、溶鋼とモールドとの接触する面積および時間が増加していると考えられる。実際に、M-EMS 処理中のモールド内での抜熱は、無攪拌時より約 10% 増加しており (Fig. 4)、凝固初期のシェルおよびエアギャップの生成に変化が生じているものと推定されるが、オシレーションマークが浅くなるメカニズム

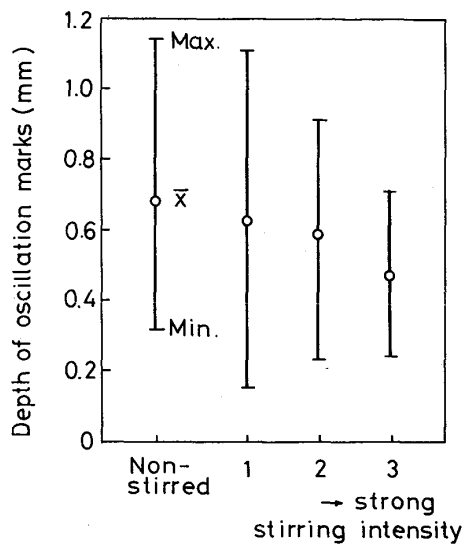


Fig. 3. Relation between M-EMS stirring intensity and the depth of oscillation marks.

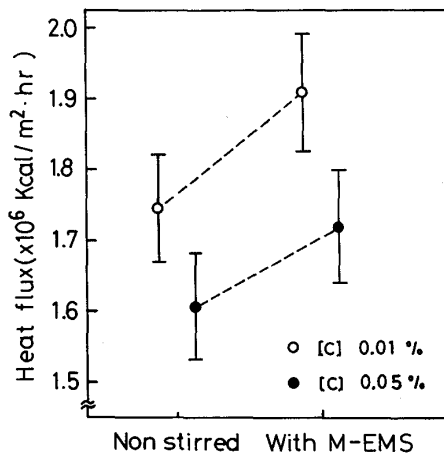


Fig. 4. Relation between M-EMS and heat flux in mold.

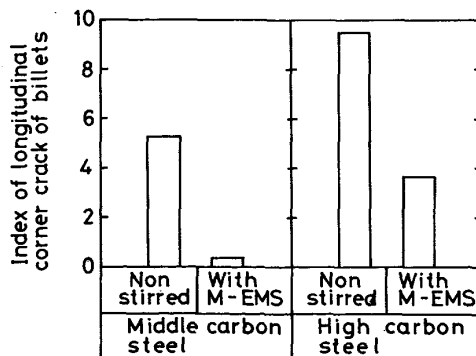


Fig. 5. Effect of M-EMS on prevention of longitudinal corner crack.

については、必ずしも明らかでなく、今後の検討課題である²⁾⁵⁾。

3.3 鋳片コーナー縦割れ

(株)中山製鋼所では、鋳片の表面欠陥除去のために、鋼種や製品サイズに応じて、グラインダーによる表面研削を行っているが、鋳片コーナー縦割れは製品の表面疵と直結し、また研削コストのアップにもつながる。

Fig. 5 に中高炭素鋼における鋳片の酸洗調査によるコーナー縦割れの発生率を示す。M-EMS 処理によりコーナー縦割れの発生が大幅に減少している。

ビレットのコーナー縦割れは、大半がモールド内で発生し、モールド内での不均一冷却、特にコーナー部シェルの凝固遅れに起因するものであるが³⁾、M-EMS による溶鋼流動がモールド内でのシェルの均一化を促進していると推測される。またブレイクアウトについても、Fig. 6 に示すように、M-EMS 処理によつて発生率が低減しており、これもシェル均一化の効果と考えられる⁴⁾。

3.4 マクロ凝固組織

M-EMS の溶鋼流動により、凝固組織が変化することは、(株)中山製鋼所ブルーム連鋳のMおよびS-EMS 導入時の調査で確認されており、また他社においても多くの報告がされている。特に小断面ビレットにおいては、鋳片の中心キャビティやマクロ偏析の軽減には有利であると考えられる。M-EMS によるマクロ凝固組織の改善効果について以下に述べる。

Photo. 1 および Photo. 2 に種々の鋼種についてのビレット鋳片のL断面およびC断面の凝固組織を示す。各鋼種とも、中心キャビティの改善が認められ、その改善効果はM-EMS の攪拌強度が強いほど大きい。また[C] $\geq 0.30\%$ では、中心部に等軸晶領域が認められるが、[C] = 0.15% および [C] = 0.02% では認められない。

Fig. 7 に鋳片C断面での等軸晶の面積率とM-EMS

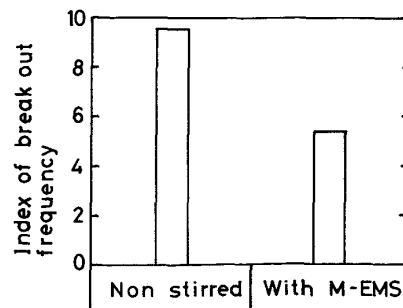


Fig. 6. Effect of M-EMS on prevention of break out.

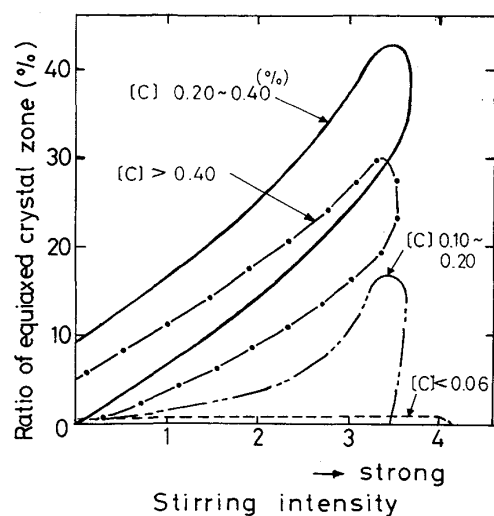


Fig. 7. Relation between ratio of equiaxed crystal zone and M-EMS stirring intensity.

の攪拌強度との関係を示すが、低炭鋼種では等軸晶率は小さく、 $[C] = 0.20 \sim 0.40\%$ の鋼種で等軸晶率のピークを有する。また攪拌強度が強いほど、等軸晶率は増加する。溶鋼の流動により柱状晶が分断されたり、直接モールド壁面から遊離した結晶が核となつて等軸晶が形成されることが考えられ、これにより等軸晶率は、攪拌強度が強いほど増加することが説明できる。 $[C]$ 領域による等軸晶率の違いについては、包晶反応が関与していると考えられているが⁵⁾、必ずしも明確でない。

また Photo. 2 に示したように、柱状晶は、溶鋼流動に逆らう方向に偏向して成長し、偏向角度は、 $15 \sim 30^\circ$ である⁶⁾。

3.5 偏 析

Fig. 8 に高炭素鋼の鑄片内の各位置における $[C]$ と $[S]$ の分析結果の一例を示す。分析に用いた試料は、

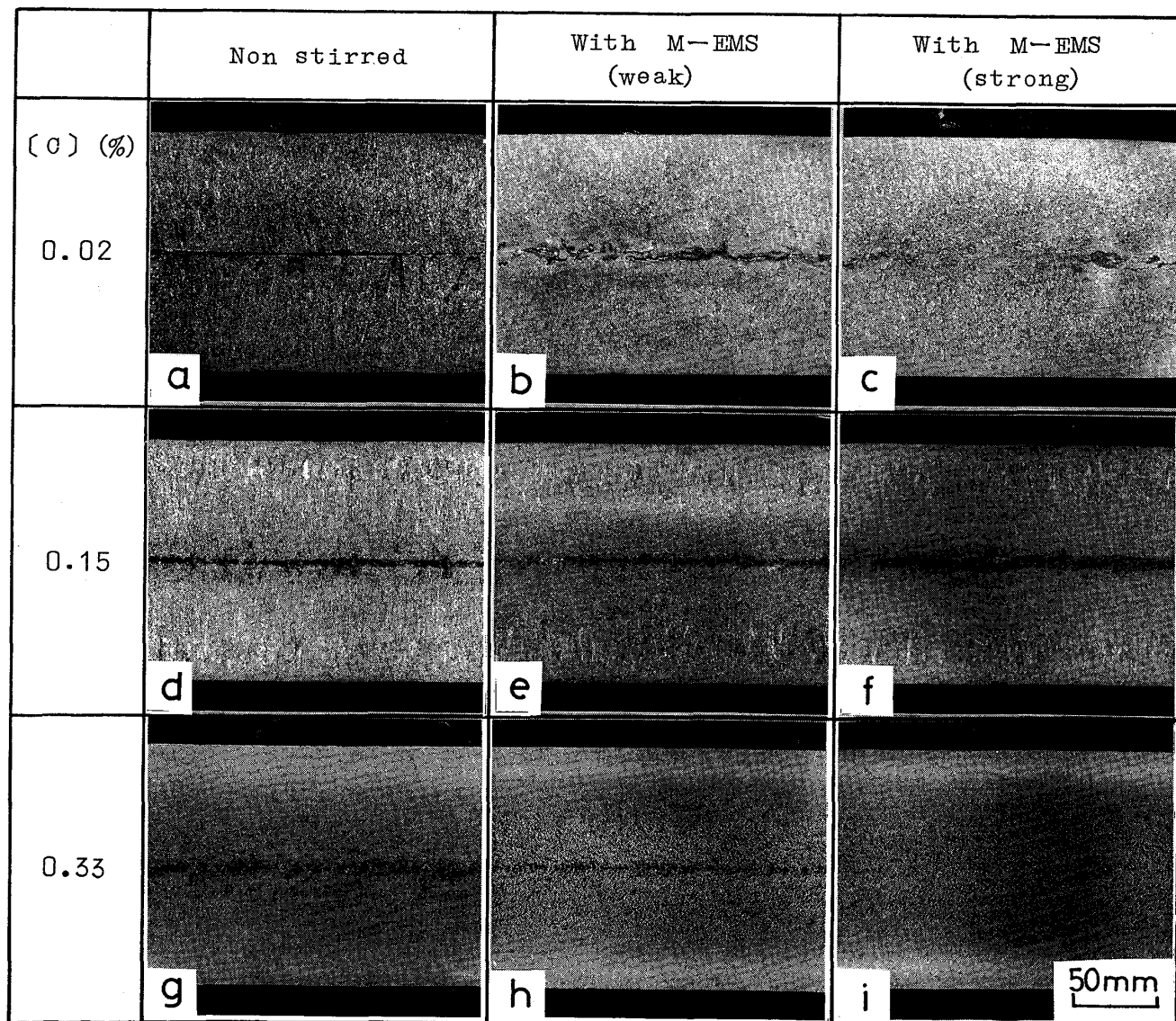


Photo. 1. Macrostructure of longitudinal section of billets with M-EMS.

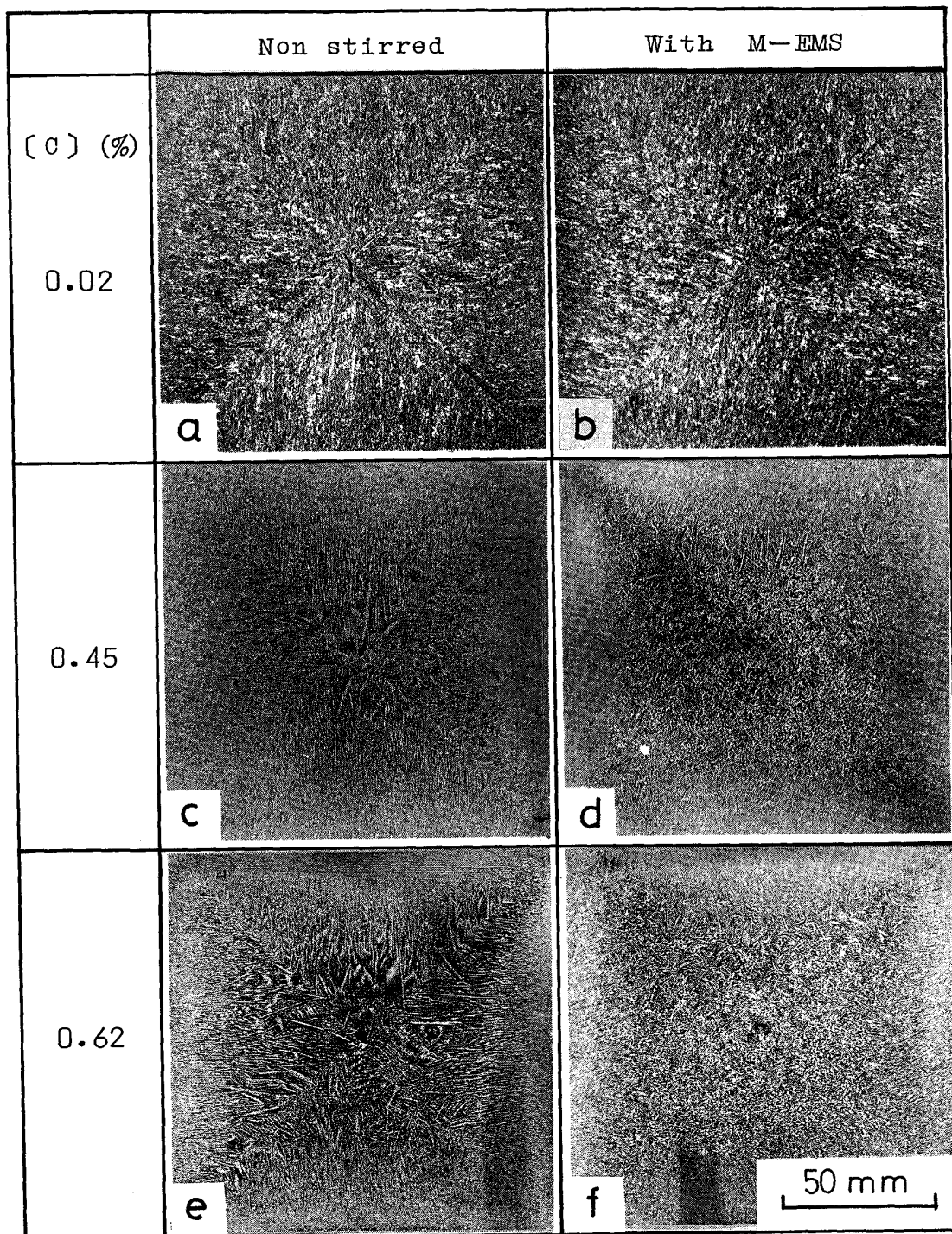


Photo. 2. Macrostructure of cross section of billets with M-EMS.

鋳片を軸芯を含むL断面で水平に切断し、切断面から 2 mm のピッチでシェーパー切削により採取した。偏析指数は、全分析値の平均値に対する各分析値の比を用いた。M-EMS 処理材は、表面から約 20 mm の負偏析帯がみられ、中心部の偏析指数は、M-EMS 処理の有無でほと

んど差が認められない。これは、中心偏析は溶鋼攪拌位置における残溶鋼プールの大きさや、攪拌強度が関係するが、小断面ビレットにおいて、M-EMS 単独では、中心偏析よりむしろ凝固組織の改善効果の方が大きいというこれまでの調査結果と一致する⁷⁾。

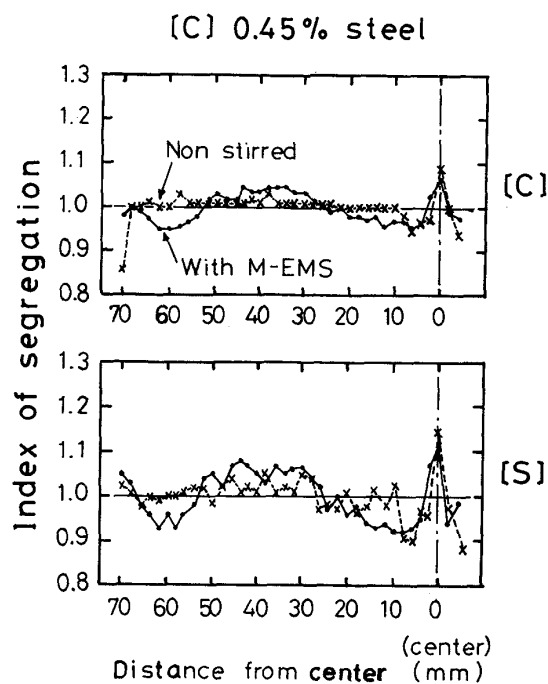


Fig. 8. Solutes distribution in horizontal direction in billets.

4. 結 言

M-EMS の導入により, $\phi 135$ mm ビレット casting で

- (1) 表面および表皮下のピンホール
- (2) オシレーションマーク深さ
- (3) コーナー縦割れ
- (4) 凝固組織

などが改善され, casting の品質向上, 操業の安定, およびコスト低減に寄与することができた。

文 献

- 1) 竹林 功, 一色孝史, 初瀬洋治, 佐藤明夫: 中山製鋼技報, **23** (1984), p. 14
- 2) 竹内栄一, 藤井博務, 平岡照祥, 古垣一成, 大橋徹郎, 喜多村治雄: 製鉄研究 (1983) 311, p. 78
- 3) 森 久: 鉄と鋼, **58** (1972), p. 1511
- 4) 吉井賢太, 高木 彌, 鈴木康夫, 森 隆資, 許斐英郎, 太田安彦: 神戸製鋼技報, **31** (1981), p. 14
- 5) 氏家義太郎, 前出弘文, 伊藤幸良, 荻林成章, 関 博, 和田 要, 伊藤裕雄: 鉄と鋼, **67** (1981), p. 1297
- 6) 水上秀昭, 小松政美, 北川 融, 川上公成: 鉄と鋼, **68** (1982), S254
- 7) 成田貴一, 野崎輝彦, 森 隆資, 綾田研三, 大西稔泰, 鈴木康男: 鉄と鋼, **66** (1980), S791