

(191)

リニアモーター型電磁攪拌による溶鋼流動と偏析

川崎製鉄 技術研究所 ○中戸 参 工博垣生泰弘 理博江見俊彦
 千葉製鉄所 浜上和久 上田典弘
 北京鋼鉄学院 邢 文彬

1. 緒言 : 連続铸造時の溶鋼に電磁力による流動を付与する種々の電磁攪拌装置(以下, EMS と略称)が開発, 実用化され, 鑄片の品質向上に成界を収めている。本報では, 未凝固溶鋼に水平方向の流動を付与するリニアモーター型 EMS の攪拌条件と溶鋼流動, 鑄片内 C 偏析について述べる。

2. 実験方法 : EMS の主仕様を表 1, 鑄造条件を表 2 に示す。EMS は, 10 m R の全湾曲型連鑄機のメニスカスから 4.6 m に設置し, 操作電流 $I_1, I_2 = 400 \sim 1000 \text{ A}$, 周波数 $f = 0.7 \sim 2.5 \text{ Hz}$ の範囲で攪拌条件を変化した。実験対象鋼種は, $C \approx 0.1, 0.4, 0.85 \%$ の炭素鋼である。偏析は, スラブ短辺面中央部を幅方向に 1 mm ごとに採取した試料の C 分析により調べた。

3. 実験結果と考察 : 単一方向に攪拌を行った場合の C 分布と凝固組織を図 1 に示す。スラブ両短辺面の C 分布, 凝固組織は非対称となり, 溶鋼流が衝突する短辺面での負偏析が大きい。単一方向攪拌で, スラブ幅方向に働らく電磁力 \tilde{F}_x を Maxwell の電磁方程式¹⁾ から求め, この \tilde{F}_x より溶鋼流速 U を求めると, (1), (2) 式が得られる。

$$\tilde{F}_x \propto I^2 f, \quad I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} \quad (1), \quad U \propto I \sqrt{f} \quad (2)$$

負偏析帯の最大負偏析率 $(C/C_0)_{\min}$ と $I \sqrt{f}$ の関係を図 2 に示す。 δ -Fe 凝固 ($C \approx 0.1, 0.4 \%$) と γ -Fe 凝固 ($C \approx 0.85 \%$) では, 同じ $I \sqrt{f}$ でも $(C/C_0)_{\min}$ が異なり, δ -Fe 凝固の $(C/C_0)_{\min}$ が大きい。本実験範囲での最大洗浄固相率 f_{\max} は, 0.40 以下である。 γ -Fe 凝固より δ -Fe 凝固の方が f_{\max} が大きい。これは, 固液共存領域の厚さとデンドライト形態の相違による。負偏析帯のすぐ中心側に正偏析帯が生ずるが, ここでの最大正偏析率 $(C/C_0)_{\max}$ は f_{\max} の増加と共に大きくなる。流動域での洗浄作用により排出された濃化溶鋼が, 流動域直後の非攪拌域で凝固前面に滞留する結果であろう。等軸晶率は, 溶鋼流速 U の増加にしたがい増すが, 一定の U 以上ではほぼ一定となる。この限界は, δ -Fe 凝固の場合, $U_{\max} \approx 20 \text{ cm/sec}$ である。スラブ両短面の C 分布と凝固組織の非対称性は, 攪拌方向を一定時間間隔で変化させる交互攪拌を適用することにより解消される。反転周期がある範囲の交互攪拌は, 負偏析率の低減にも有効である。

1) W.F. Hughes et al : The Electromagnetodynamics of Fluids, (1966), P. 140 [John Wiley & Sons Inc]

表 1. EMS の主仕様

型 式	リニアモーター式(水平方向攪拌)
電 流	$I_1 = 0 \sim 1000 \text{ A}, I_2 = 0 \sim 1000 \text{ A}$
周波数	$0.3 \sim 3.0 \text{ Hz}$
公称出力	790 KVA

表 2. 鑄造条件

スラブサイズ	$200 \times 940 \sim 1240 \text{ mm}$
鑄造速度	$0.7 \sim 0.9 \text{ m/min}$
溶鋼過熱度	$18 \sim 33 \text{ }^\circ\text{C}$

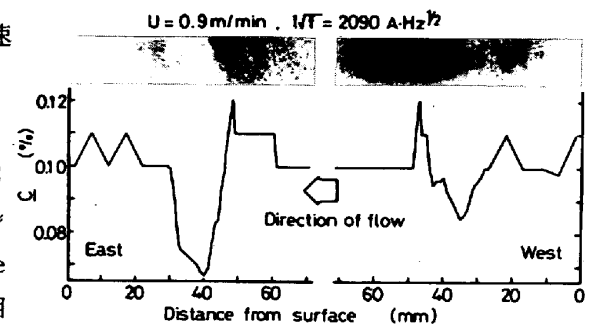


図 1 スラブ短辺部の凝固組織と C 偏析に及ぼす攪拌方向の影響

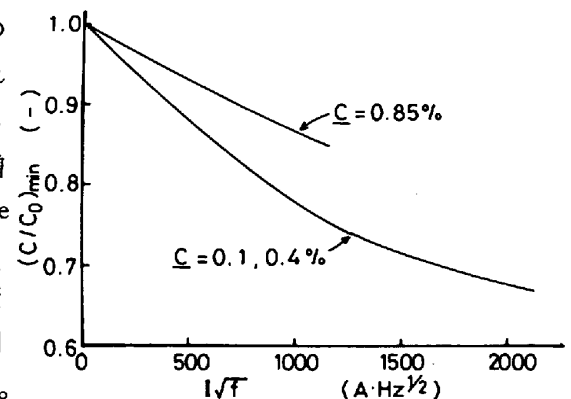


図 2 負偏析率に及ぼす攪拌強度パラメータ $I \sqrt{f}$ の影響