

日本ロータリーノズル株式会社 「渦流式連铸モールド湯面計 (ECLM)」

Nippon Rotary Nozzle Co., Ltd.
“Eddy Current Mold Level Sensor (ECLM)”

新 井 学^{*1} 尾 坂 力^{*1} 中 田 正 之^{*2}
Manabu ARAI Chikara OSAKA Masayuki NAKADA

Abstract

The sensor is a key element among the components constituting the control system in the continuous casting process. For this reason, stable operation, quality control and improvement in both quality assurance and refractory life can be achieved by the application of Eddy Current Level Meter (ECLM) with high measurement accuracy and short response time. This superiority of ECLM has been widely recognized and adopted at over 300 continuous casters in the world.

1. 緒言

連続铸造プロセスにおいて、铸型（モールド）内の鋼浴面の位置（以下、湯面レベル）を一定範囲内に精度良く維持制御することは、連铸操業と铸片品質の安定にとって不可欠の技術である。モールド内湯面レベル制御（以下、レベル制御）はFig. 1に示すように、設定レベルと検出されたレベルとの偏差に応じてタンディッシュからモールドへの溶鋼供給量を加減制御する閉ループシステムで構成されるが、湯面レベルを精度良く、時間遅れなく検出できるセンサーが最も重要な役割を担う。渦流式モールド湯面計（Eddy Current Level Meter, 以下、ECLM）は、NKK（現JFEスチール）で開発¹⁾されて以来、300を超える世界の連铸機で広く使用されており、その概要を紹介する。

2. 計測原理

ECLMの計測原理をFig. 2に示す。ECLMセンサー内の励磁コイル（P）を流れる高周波電流に

1. Preface

In the continuous casting process, a precise and reliable mold level control system is indispensable for stable operation and quality assurance of the cast products. Among the components constituting the control system (Fig. 1) in which the molten metal supply rate from tundish to mold is regulated in accordance with the detected mold level, the key element is the level sensor which must have high measurement accuracy and short response time. Since the development of the new Eddy Current Level Meter (ECLM) in NKK (present JFE Steel)¹⁾, it has been adopted at over 300 continuous casters in the world and is proving its superiority to other conventional measuring systems.

2. Measuring Principle

The ECLM measuring principle is shown in Fig. 2. A primary electromagnetic field

*1 日本ロータリーノズル株式会社 技術部 次長 Deputy General Manager, Technology Dept., Nippon Rotary Nozzle Co., Ltd.

*2 日本ロータリーノズル株式会社 技術部 部長 General Manager, Technology Dept., Nippon Rotary Nozzle Co., Ltd.

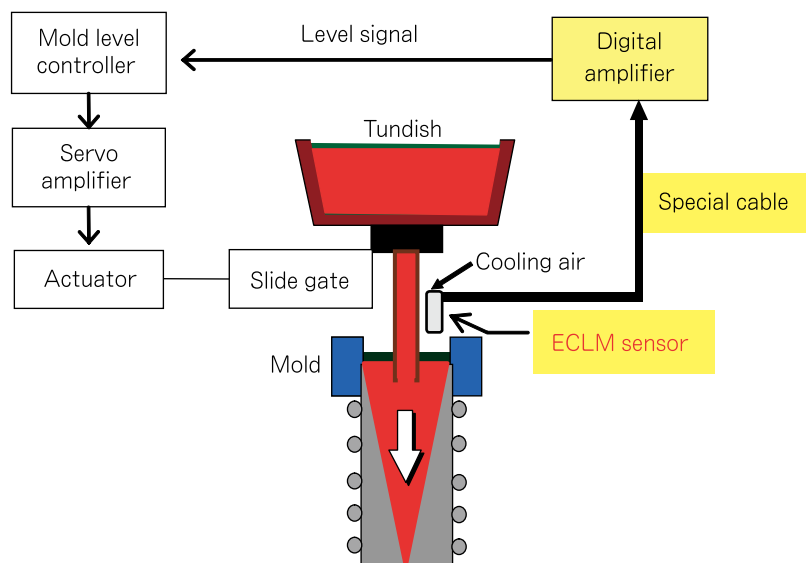


Fig. 1 Mold level control system with ECLM.

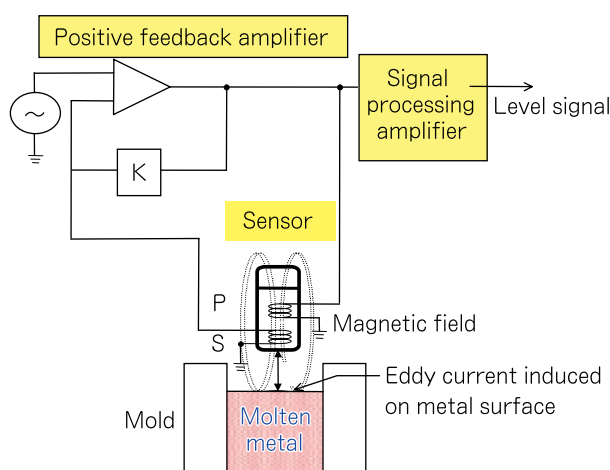


Fig. 2 Measuring principle.

よる交流磁界は鋼浴面（湯面）に渦電流を発生させ、その渦電流の強さは励磁コイルからの距離の関数となる。センサー内の検出コイル（S）によって渦電流（正確には、渦電流によって発生する磁界）の強度を計測することにより、湯面レベル信号として検出する。

他の湯面レベル検出法（RI法、熱電対法など）との比較では、湯面レベルのごく僅かな変動で変化する渦電流の強さを測定パラメーターとしたことによる応答時間の向上、パウダー層では渦電流の発生がほとんど無いために真の溶鋼湯面レベルを精度良く検出できるなどの特長を有する。また、

generated by high frequency current running in the exciting coil (Coil P) produces an eddy current on the molten metal surface. While, the detecting coil (Coil S) picks up the degree of eddy current (more precisely, the intensity of secondary magnetic field induced by the eddy current), which is described as a function of the distance between sensor and metal surface. The value measured by the detecting coil is fed to the amplifier and processor in order to provide the mold level signal.

In comparison with other sensor like radio isotope or thermocouple types, ECLM has quicker response due to the swift detection of change in the eddy current intensity as well as high measurement precision and is not affected by the mold flux layer. Furthermore, owing to its remote control sensing technology, ECLM can be adopted in any circumstances easily and safely.

3. Configuration

As shown in Fig. 1, ECLM consists of a sensor, amplifier, and cable connecting them.

The sensor body is designed as a heavy-duty structure with air cooling so as to ensure measurement reliability and accuracy even under

非接触の測定であるため、あらゆる作業環境下で適用可能であり、安全性も高い。

3. ECLM装置の構成

Fig. 1に示すように、ECLMはセンサー、アンプ、両者を結ぶケーブルで構成される。

センサーは、モールドからの輻射による高温条件下での安定作動を保证するため、堅牢な特殊耐熱ケースで保護された空冷構造である。あらゆる形状のモールドに対応できるよう複数のセンサー形状（Fig. 3）を取り揃えており、連铸機レイアウトに応じてモールド上、铸造床、あるいは、タンディッシュカー等、設置場所の選択肢も広い。

センサー内の検出コイルで計測された渦電流の強度はアンプ内でレベル信号に変換され、制御システムに供給される。アンプ内の信号変換処理プロセスには、レベル信号に影響を及ぼす可能性がある外乱要因（モールドオシレーションや铸型内電磁攪拌の磁界など）のキャンセル回路を組み込むことができ、铸片品質改善を目的とした铸型内電磁攪拌などの最新技術との共存を可能としている。

4. ECLM導入の効果

高精度で応答性に優れたECLMの湯面レベル制御センサーとしての採用により、連铸操業・铸片品質の改善事例が数多く報告されている。

(1) 連铸操業と铸片品質の安定

湯面レベル制御精度の向上により、モールド内の铸片初期凝固のバラツキが減少し、凝固初期のバラツキが部分的凝固遅れを誘引して生じる铸片表面割れやブレイクアウトの低減に寄与している。また、パウダー流動挙動のバラツキも減少し、大きな湯面レベル変動時に生成されるスラグベアの解消とともに、パウダー均一流入に伴う操業と铸片品質の安定に寄与している。

(2) 铸片品質管理レベルの向上

ECLMの優れたレベル検知能力が铸片品質管理に適用される報告もある²⁾。外乱要因によって閾値を越えるモールドレベル変動が観察された場合、該当铸片をトラッキングして铸片品質を確認する厳格な铸片品質管理により、最終製品品質の安定化に資している。

high temperature and dusty environments. A variety of sensor diameters (Fig. 3) enables easy and flexible installation regardless of mold shape/size or casting floor layout.

The eddy current intensity, which is monitored by the detecting coil (Coil S), is transformed to the mold level signal by amplifier and processing unit so as to provide it to the mold level control processor. A cancellation circuit for outer disturbances, such as the mold oscillation or the magnetic field generated by EMS (Electro-Magnetic Stirrer), can be added to these state-of-the-art quality assurance technologies.

4. Effects of ECLM Application

A great number of advances achieved by ECLM application have been reported in the field of casting operation and quality control / assurance.

(1) Contribution to stable operation and quality control

According to the improvement of mold level control accuracy, variations in initial solidification behavior are minimized, resulting in drastic suppression of surface cracks and break-outs which are often caused by the localized solidification delay initiated at the meniscus. The improved melting and flowing qualities of the mold flux enhance the uniform and smooth formation of the lubricant film between mold and solidified

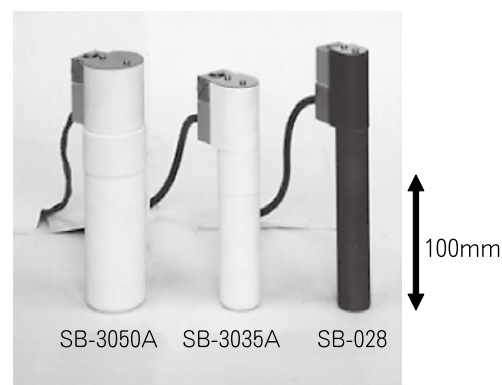


Fig. 3 ECLM Sensors.

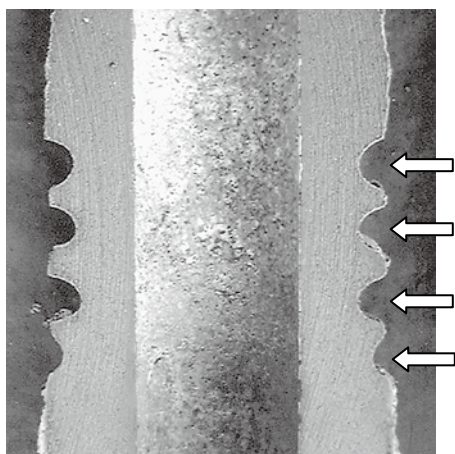


Fig. 4 Dispersed slag line of SEN.

(3) 耐火物への影響

レベル検出精度の低いセンサーによる従来操業では、浸漬ノズルのパウダーライン広域にわたる溶損に起因するトラブルが問題であった。ECLM導入によるレベル制御の精度向上により、一定時間毎にモールドレベルを変更してスラグライン局部溶損部を分散させる方法が可能となり (Fig. 4)、耐パウダー溶損性の大きいジルコニア-C系材質の適用と併せて、耐火物の耐用改善に寄与している。

5. 結言

上述のように、ECLMはその湯面レベルセンサーとしての優秀性が多くの連鑄機で証明されており、連鑄操業と鑄片品質の安定に欠くことのできないツールと位置づけられている。本報で紹介したECLMに加えて、品川グループは連鑄用耐火物 (SVプレート、浸漬ノズル) やモールドパウダーも供給しており、これらの開発・改善を通して連鑄操業安定化への貢献を図っていく。

<問い合わせ先>

日本ロータリーノズル株式会社
<http://www.rotarynozzle.jp/>

shell, contributing to more stable operation and cast product qualities.

(2) Improvement in quality assurance

The superior capability of ECLM in mold level sensing is being applied for the quality assurance²⁾. Relatively large fluctuations in the mold level are sporadically observed due to some outer disturbances. For such occasions, the corresponding cast products are traced and given a thorough inspection for the quality assurance in entire processes from casting to final products.

(3) Influences on refractories

With conventional level control systems with inaccurate level sensors, the SEN (Submerged Entry Nozzle) slag line was broadly eroded by the mold flux, resulting in occasional breakage incidents. With a higher precision of mold level measurement, ECLM enables changing of the SEN slag line position at several points (Fig. 4) by shifting the mold level at regular time intervals. When Zirconia-C is applied to SEN slag lines, the durability of cast refractories is greatly improved.

5. Conclusion

The superiority of ECLM as an ideal mold level sensor has been well proven at many continuous casters and it has made notable contributions to improvements in operation and cast product qualities. In addition to ECLM, Shinagawa and associated companies are contributing to stable casting operation by supplying highly reliable refractories and mold flux.

For further information, please contact Nippon Rotary Nozzle Co., Ltd.
<http://www.rotarynozzle.jp/>

References

- 1) K. Tsuboi, K. Sano, Y. Horiuchi, S. Komori, I. Tsuboi, T. Wada : NIPPON KOKAN TECHNICAL REPORT, Overseas, [36] 90 (1982)
- 2) T. Teshima, J. Kubota, M. Suzuki, K. Ozawa, T. Masaoka, S. Miyahara : Tetsu-to-Hagane, 79 [5] 40 (1993)