連続鋳造における介在物除去と偏析低減技術の開発 (耐サワーガス用ラインパイプの製造技術の開発)

楯 昌久¹⁾、石黒守幸²⁾、小森重喜³⁾、
村上勝彦⁴⁾、中島広久⁵⁾

1. 緒 言

現在、世界的な規模において、省資源、省エネルギー、省力化の観点から、飛躍的に連続鋳造の適用拡大が進行しつつある。このような連続鋳造の適用拡大が可能となってきた背景には、連鋳技術のハードおよびソフトの両面における精力的な改善、開発が行われてきたことに起因している。

当社においても、連続鋳造の導入初期から連鋳スラブの内質改善に努力し、特に、製品品質上、大きな問題となる介在物偏在対策および、中心偏析対策に独創的な技術開発を進めてきた。これらの技術開発は、京浜製鉄所扇島1号連鋳機に、軽圧下装置を有する垂直曲げ型連鋳機として集大成された。

ここでは、これら2つの大きな問題点に的を絞って、その開発経緯と、その実効果について紹介する。

2. 垂直部の設置

(1) 水モデル実験による垂直長さの決定

連鋳機におけるストランド内介在物の浮上分離と垂直部長さの関係を、水モデル実験によって調査した結果を図1に示す⁽¹⁾。この結果から、介在物の浮上に必要な垂直長さは、流入流が対称な流れの場合、2~3mで十分であるが、異常な方向流れが発生した場合は、5mの垂直部が必要となることが明らかとなった。

このような観点から、あらゆる鋳造条件に対処可能なように、京浜製鉄所1号連鋳機においては、5mの垂直部を設置した。

(2) 介在物浮上性に対する垂直部の実効果

5mの垂直部を持つ連鋳機で鋳造したAlキルド鋼を対象とし、スライム法により大型介在物を抽出して、球形介在物の粒径分布を測定した結果を図2に示した⁽²⁾。これによれば、垂直曲げ型連鋳機で鋳造された鋳片内の

大型介在物個数比率は、円弧型連鋳機のそれに比較して大幅に減少しており、各介在物粒径で、約1/20になっている。一方、モールド内溶鋼中の個数比率は、両連鋳機で大差ないことから、鋳片内の介在物の減少はモールドと、これに続く垂直部における浮上分離によりなされたものと考えられる。

一方、従来の円弧型連鋳機に発生した1/4~1/6厚みの介在物集積帯も完全に消滅しており、垂直部の効果が極めて大であることが知れる。

図1 ストランド内への介在物侵入深さ⁽¹⁾。
(水モデル実験結果)

3. 中心偏析低減のための軽圧下技術の開発

(1) 軽圧下法の原理

連鋳鋳片の中心偏析および、センターポロシティは、最終凝固部における濃化溶鋼の移動現象に起因している。濃化溶鋼の移動を防止するためには、鋳片のバルジング防止と、凝固収縮による濃化溶鋼の吸引防止が必要である。

これらの影響の概念図を図3に示す。中心偏析はバルジング量の増大に伴ってCD線で示すように増加する。さらに、凝固収縮による濃化溶鋼の吸引が発生した場合、直線CDは、ABへシフトして、中心偏析はさらに増加する。

* 日本鋼管株式会社

1) 鉄鋼技術部主任部員 2) 京浜製鉄所管理部技術調整室主任部員
3) 京浜製鉄所製鋼部技術室主任部員 4) 技術研究所主任部員
5) 京浜製鉄所製鋼部第1鋳造班長

Improved Technologies for Inclusions and Centerline Qualities by New Designed Continuous Casting Machine; M. Tate, M. Isiguro, S. Komori, K. Murakami, H. Nakajima (Nippon Kokan K.K.)

1982年1月30日受理

図2 モールド内溶鋼および鋳片内の介在物粒径分布⁽²⁾ (対タンディッシュ内溶鋼中介在物比)。

図3 中心偏析発生概念図。

したがって、何らかの手段によって、凝固収縮量を完全に補償し、さらに、バルジングが防止できれば、中心偏析は、B点→D点→C点に向って改善される。

そこで、この凝固収縮に伴う濃化溶鋼の移動を防止する手段として、軽圧下技術を開発した。

(2) 軽圧下法の設備内容

京浜製鉄所1号連鋳機の建設に際しては、種々の実験テストを実施して、凝固完了部近傍に、ロール径 350 mm、ロールピッチ 420 mm の軽圧下装置を設置した。この装置は、全長 4.20 m で、4 台のセグメントに分割された 11 対のロール群から成り、鋳片を均一に圧下するため、1 対のロールごとに、油圧シリンダーを設け、油圧系は 4 グループに分割制御されている。

なお、軽圧下の効果を最大限に引き出すためには、既述のように、凝固完了域における鋳片のバルジングを極力減少させることが必要であり、ガイドロール部にロールピッチ 350 mm、ロール径 290 mm の小径分割ロールを採用した。

図4 中心偏析面積率におよぼす軽圧下の効果⁽³⁾ (高温鋳造、素鋼 [S]=0.020~0.024%)。

図5 鋳片厚み方向の密度分布⁽³⁾。

その結果、従来の連鋳機に比較して、最終凝固近傍のバルジング量は大幅に減少し、最大 0.9 mm 程度である⁽³⁾。

(3) 中心偏析およびセンターポロシティに対する軽圧下の効果

一般的に、高温鋳造された鋳片は、厚み中央まで柱状晶が発達し、軽圧下を行わない場合の中心偏析は太く線状であるのに対し、軽圧下を適用した場合は、中心偏析は細く不連続となる。そこで、軽圧下の効果を定量的に把握するために、鋳片の横断面全体に占める中心偏析の面積率を調査し図 4 に示した。

図 4 から知れるように、高温鋳造された鋳片は、軽圧

下率 1.0 mm/m (鋳造方向 1 m 当りの圧下量) 付近までは、軽圧下の適用によって急激に中心偏析の改善が認められる。なお、低温鋳造された鋳片は、鋳片中心部まで等軸晶が発達するため、最終凝固部に軽圧下が作用しないため、その効果はほとんど認められていない。

また、鋳片のセンターポロシティを密度によって評価してみると、図 5 に示すように⁽³⁾、軽圧下によって鋳片中心部の密度低下が防止されており、中心偏析と同様に、高温鋳造軽圧下の場合、その効果が大きい。

以上のように、種々の条件下で体系的に調査した結果、軽圧下装置の効果を十分に発揮させるための最適条件としては、タンディッシュ内容鋼過熱度を 30~50°C に保ち、軽圧下率が 0.75~1.0 mm/m で、鋳造速度を 0.9~1.0 m/min とする、いわゆる 高温軽圧下鋳造方法を確立した。

4. 連鋳対象鋼種の品質改善

軽圧下装置を有する垂直曲げ型連鋳機により、従来、内質上の問題点から連鋳化が困難とされていた用途に關しても連鋳化が可能となり、厚板向鋼種、薄板向鋼種のほぼ全量が連鋳化されてきている。

特に、中心偏析程度と介在物量に極めて敏感な HIC (水素誘起割れ) に対して、その効果を如何に発揮している。

従来型連鋳機においては、低温鋳造もしくは、電磁攪拌によって、鋳片厚み中心近傍の組織を等軸晶化し、中心偏析を分散させる手法が一般的であった。しかしながら、これらの場合、マクロ的な中心偏析は消滅するかわりに、鋳片厚み中心付近の等軸晶部に、セミマクロ的な偏析が多数分散するため、ステップ状の HIC が多発し、さらに、これらの場合、鋳造温度を比較的低くする必要があり、介在物に起因する HIC も発生し易い傾向にある。

1 例として、耐サワーガス用ラインパイプ (API-5LX-X60) の実績を表 1 に示す。

表 1 にみられるように、垂直曲げ型連鋳機によって高温軽圧下鋳造されたものは、主として中心偏析に起因する板幅中央部および、介在物に起因する溶接部共に、HIC の発生は認められない。

以上のように、軽圧下装置を有する垂直曲げ型連鋳機

表 1 耐サワーガスラインパイプ材の HIC 確性結果の一例 (対象鋼種: API-5LX-X60)
(C: 板幅中心, W: 溶接部)

	溶 鋼 過熱度 $\Delta t^{\circ}\text{C}$	区	HIC 確性結果					
			BP 環 境* ¹			NACE 環境* ²		
			ブリス ター	CLR* ³ (%)	CSR* ⁴ (%)	ブリス ター	CLR (%)	CSR (%)
湾曲型	15°C (低温 鋳造)	C	0	8.7	0	1	2.4	0
		W	1	0	0	1	0	0
垂 直 曲 げ 型 軽 圧 下	40°C (高温 鋳造)	C	0	0	0	0	0	0
		W	0	0	0	0	0	0
	10°C (低温 鋳造)	C	1	5.7	0	0	0	0
		W	0	0	0	0	0	0

*1: H₂S 飽和人工海水

*2: H₂S 飽和 0.5% 酢酸, 5% 塩化ナトリウム溶液

*3: 割れ長さ率

*4: 割れ面積率

は、現在、API-5LX, X 65 までの耐サワーガス用 高級
ラインパイプ原板の製造を可能にしている。

5. 結 言

当社は、連鋳鋳片の内部性状改善を目的に、軽圧下装置を持った垂直曲げ型連鋳機を開発してきた。その特長は以下の通りである。

(1) 介在物浮上分離促進のために、モール直下に約 5 m の有効垂直部を有する。

(2) 中心偏析低減の目的で、最終凝固付近に、4.20 m の軽圧下装置を有する。

これらの特長を有効に発揮することにより、耐サワーガス用ラインパイプ原板、DI 缶用ブリキ原板および、TV シェドーマスク材に至るまで連鋳鋼種の拡大がなされ、当社における全社の連鋳化率は、ほぼ 100% のレベルに達し、省工程および省資源に大いに貢献している。

6. 特 許

権利化されたもの 2 件 (登録番号: 989824, 1043113) の他、特開 49-121738, 特公 54-38978 が本件関係の特許である。

文 献

- (1) 川上公成ほか: 学振 19 委-凝固 133, (1973)。
- (2) 村上勝彦ほか: 鉄と鋼, **67** (1981), S851。
- (3) 楯 晶久ほか: 日本鋼管技報, **79** (1978), 313。