

高級極厚鋼板用新連続铸造技術(PCCS 法)の開発

平城 正¹⁾ 山中 章裕²⁾ 白井 善久³⁾
佐藤 康弘⁴⁾ 熊倉 誠治⁵⁾

1. はじめに

製品厚みが 100 mm を超えるような極厚鋼板の用途は、橋梁、金型用、そして大型産業機械用などで、高品質および内質健全性が要求される。特に、首都高速道路等に使用される橋脚は、近年厚肉化の傾向がみられます。ますます厳しい内質レベルが要求されている。また、石油掘削用の海洋構造物用等のエネルギー分野からの需要も近年高い。

このような極厚鋼板を製造する際、その内質を確保することは重要である。板厚中心部の機械的特性の確保や、铸片中中心ポロシティ(気孔)圧着のために、圧延において強圧下を適用している⁽¹⁾。しかし、汎用連続铸造機で铸造された通常铸片の圧延製造プロセスにおいては、圧延ミル能力の制約から強圧下圧延でもポロシティ欠陥がわずかに残り、高感度超音波探傷により欠陥として見つかるため製造可能製品厚には限度がある。従って、従来、極厚鋼板は大断面のインゴットを铸造した後、比較的大きな圧延圧下比によって成型して製品としていた。これに対し、著者らは連続铸造機において铸片を凝固末期に強圧下することで、内質上問題となる铸片厚み中心部のポロシティを铸造段階で圧潰するポロシティの低減法(Porosity Control of Casting Slab; PCCS 法⁽²⁾)を開発した。その結果、通常の連続铸造一厚板生産プロセスで極厚鋼板の製造が可能となった。

2. 極厚鋼板製造における課題

铸造末期に溶鋼凝固時の体積収縮により空隙が発生し、これが中心ポロシティとなりスラブに残存する。著者らの調査から通常スラブでは、図 1 に示すように円相当直径 2 mm 以下程度のポロシティの集合体で残存するケースが多く、圧延圧下比を確保できない極厚鋼板など成品サイズによっては圧延後も残存し、超音波探傷検査で欠陥として発見されるため、スラブ段階での中心ポロシティ低減が非常に重要な課題であった。

3. PCCS 法の概要

前述の極厚鋼板製造時の铸造欠陥の課題を解決するため、汎用連铸機である表 1 に示す仕様の鹿島製鉄所第 2 連铸機において、PCCS 法の開発に取り組んだ。図 2 に特徴を示す。PCCS 法とは、スラブの厚み中心部がほぼ完全凝固する直前にスラブに大圧下を加え、中心ポロシティを生成段階で圧着させることを目的とした手法である。铸片表面と中心の温度差は約 500℃ 前後あり、表面より高温の中心部に圧下変形を効率的に付与でき中心ポロシティが圧着できることに特徴が

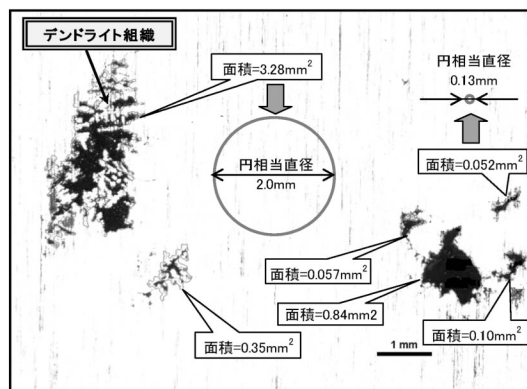


図 1 通常スラブで確認される中心ポロシティの例。

* 住友金属工業株式会社
総合技術研究所製鋼研究開発部：
1)主任研究員 2)部長研究員
3)主任研究員(現 ステンレス・チタン研究開発部)
鋼板・建材カンパニー 製鋼部製鋼技術室：
4)スタッフ 5)参事(現 東京本社)
Development of New Continuous Casting Technology (PCCS)
for Very Thick Plate.; Sei Hiraki, Akihiro Yamanaka, Yoshihisa
Shirai, Yasuhiro Satou, Seiji Kumakura (Sumitomo Metal Indus-
tries, Ltd.)
2008年10月27日受理

表 1 鹿島製鉄所第 2 連铸機主仕様.

項 目	仕 様
形式	垂直曲げ(垂直部 2.5 m)
機長[m]	28.3
マシン半径[m]	9.4
ストランド数	1

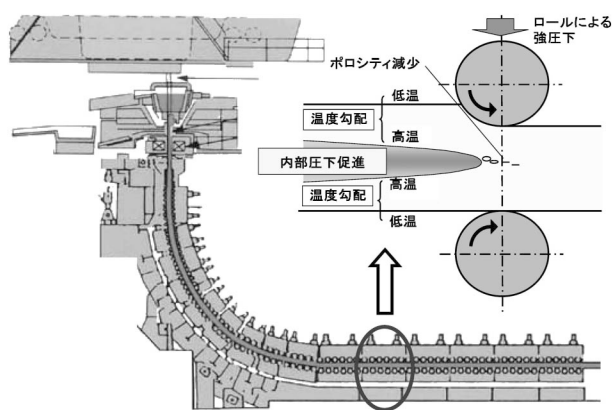


図 2 鹿島製鉄所第 2 連铸機における PCCS 法と特徴.

表 2 PCCS 法適用条件.

項 目	内 容
C 含有量[mass%]	0.09~0.15(400, 500, 600 MPa 級鋼)
スラブサイズ[mm]	300厚×2300幅
铸造速度[m/min]	0.55~0.60
圧下量[mm]	約10

ある。

PCCS 法適用条件は、表 2 に示す C 含有量 0.09~0.15 mass%，強度は 400, 500, 600 MPa 級の鋼種で実施した。スラブサイズは鹿島製鉄所第 2 連铸機で最大のサイズである 300 mm 厚×2300 mm 幅で、铸造速度は鋼種により 0.55~0.60 m/min の範囲とした。圧下は中心固相率が完全凝固直前と考えられる後述の適正範囲でスラブに約 10 mm の圧下を加えた。

4. 中心ポロシティの評価方法の確立

著者らは PCCS 法の開発にあたり中心ポロシティの評価として以下の比重測定に基づき定量化を図った。スラブの 1/4 厚部ではポロシティの発生はほとんどないことに着目し、スラブの厚み中心部の密度 ρ と、1/4 厚部の密度 ρ_0 を厚み 7 mm×幅 100 mm×長さ 50 mm サンプルで測定し、式(1)を用いて比体積の差を厚み中心部の単位重量あたりのポロシティ体積と定義し算出する手法である。なお、比重測定方法は JIS Z8807 の固体比重測定方法⁽³⁾に則り、水中で秤量する手法を用いた。

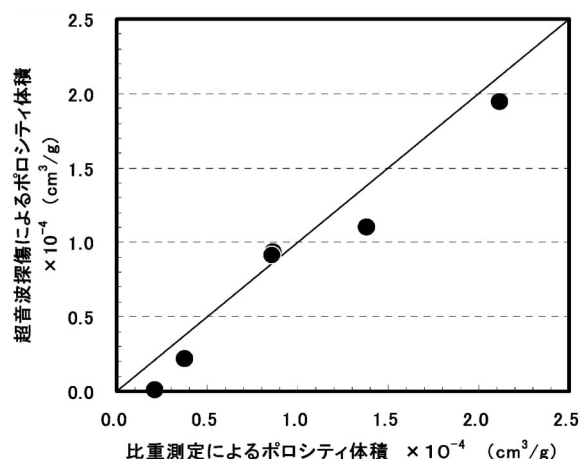


図 3 比重測定法と超音波探傷法のポロシティ体積の比較.

$$\text{単位重量あたりのポロシティ体積} = 1/\rho - 1/\rho_0 \quad (1)$$

本評価方法を厚み中心部の同じ位置から採取したサンプルの超音波探傷(UST)による評価との検証結果を図 3 に示す。なお、超音波探傷では、検出されたポロシティの個々の測定断面積から求めた円相当直径の球形体積に換算したポロシティ体積の総和をサンプル重量で除し単位重量あたりのポロシティ体積を評価した。その結果、本評価方法は簡便な中心ポロシティ評価法として利用できることを確認した。

また、著者らはスラブに限らず、圧延後の成品についても同様の手法でポロシティ体積を評価できることを確認した。ただし、圧延材については、測定されたポロシティ体積をそれに比例するポロシティグレードに換算し評価を行った。

5. PCCS 法の適用結果

(1) スラブの中心ポロシティの低減効果

凝固伝熱計算より求めたスラブ圧下時の厚み中心の固相率とポロシティ体積の調査結果を図 4 に示す。中心固相率 0.80~0.95 の範囲の適正な圧下条件をとった PCCS 法を適用した铸造スラブは、図 5 に示すように中心ポロシティ体積を通常铸造スラブと比較して、いずれの鋼種も約 1/3 に低減する大きな効果が得られた。

(2) PCCS 法によるスラブ内部圧下効果の検証

図 6 のマクロエッチを施したスラブ縦断サンプル材で、電磁攪拌によって生じる負偏析帯(ホワイトバンド)を便宜的に境界として、PCCS 法による強圧下を適用したスラブの上表面側と中心側の領域の厚みについて、強圧下をしない通常スラブからの厚み変化を求め内部圧下率を算出した。

PCCS 法を適用したスラブでは中心部分では約 3%，上表面側部分では約 0.7% の圧下率となり中心部の圧下が優先的に進み中心ポロシティ低減において内部圧下効率が良いことが確認された。

(3) 圧延成品の中心ポロシティ低減効果

400 MPa 級鋼について、鋳片の圧延時の圧下比と中心ポ

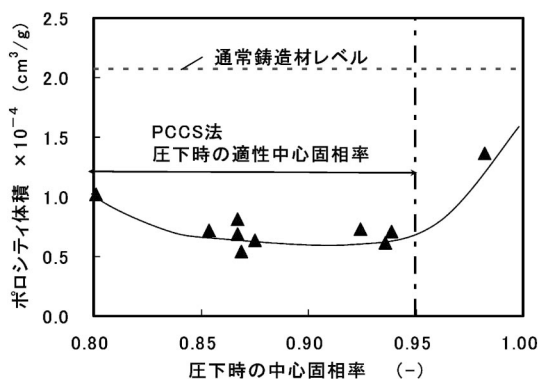


図4 圧下時の中心固相率とポロシティ体積の関係。

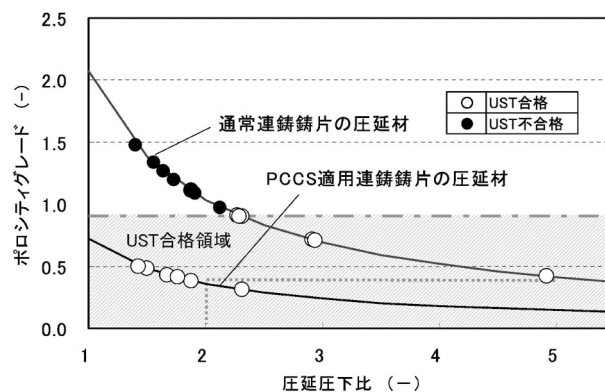


図7 圧延時の圧下比とポロシティグレードの関係。

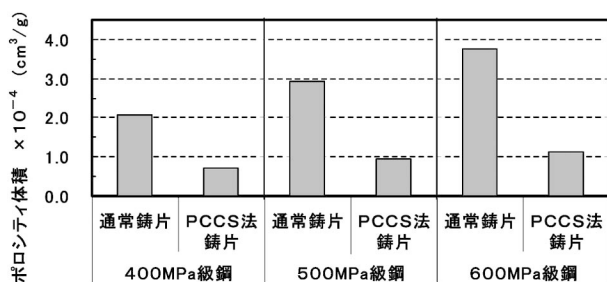


図5 PCCS 法による中心ポロシティ低減効果。

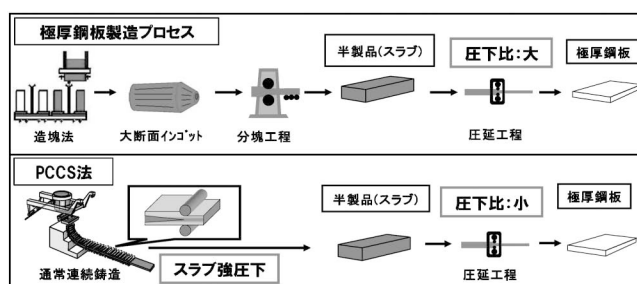


図8 インゴットとPCCS 法による極厚鋼板製造プロセス比較。

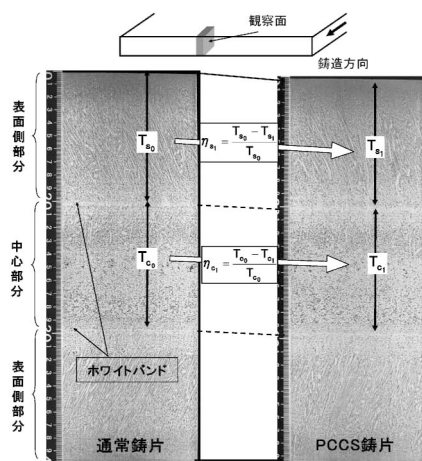
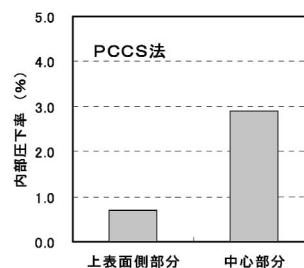


図6 内部圧下率 η の検証。



ロシティグレードの関係を図7に示す。PCCS法適用鑄片によれば、150 mm 極厚鋼板の製造で300 mm 厚のスラブから圧延圧下比2程度で製造実現可能となった。一方、従来であれば、同等品質のポロシティグレードを得るには、圧延圧下比5が必要で、これは750 mm 厚の大断面の鑄片(インゴット)からの製造が必要である。

6. 開発の成果

著者らが開発したPCCS法により、鑄片の厚み中心のポロシティの大幅な低減を実現し、図8に示す従来の大断面のインゴット鑄造を経ずに、通常の連続鑄造—厚板生産プロセス上で極厚鋼板の製造が可能となった。また、インゴットか

ら連鑄化することにより粗鋼1トンあたり約110 kgのCO₂排出低減が見込まれ、PCCS法は環境負荷低減にも寄与するプロセスである。今後、需要旺盛な海洋構造物等エネルギー分野用の極厚鋼板の安定供給にも大きく貢献するものと期待できる。なお、本開発に関連して8件の特許を出願した。

文 献

- (1) 江本寛治：(財)日本鉄鋼協会編：第86・87回西山記念技術講座，(1982)，63-64。
- (2) 佐藤康弘，熊倉誠治，太田晃三，平城 正，白井善久，山中章裕：CAMP ISIJ, 21(2008)，104。
- (3) JISハンドブック，(財)日本規格協会，(2007)，JIS Z8807。