

技術資料



Technical Paper

大断面鑄造機の開発

岸 幹根*, 山口智則*, 久村総一郎*, 江口 潤*

Development of Large Cross-Section Bloom Casting Process

Mikine Kishi, Tomonori Yamaguchi, Soichiro Kumura, and Jun Eguchi

Synopsis

Daido steel has developed a new caster, which features are semi-continuous, large cross section and vertical type. It was built in July 2004, and named "PHC"(Promising Hybrid Caster).

The PHC has characteristics and advantages of both continuous caster and ingot casting process.

And the process has the following quality results of the PHC bloom.

-1) By applying extremely low speed casting technology, the internal quality of PHC bloom has improved. Its quality level is equivalent to that of the conventional bloom.

-2) Variable width mould mechanism has been developed and introduced to PHC.

The mechanism has made it possible to cast tapered bloom and greatly improved the internal quality of high carbon grades.

-3) Punching press was introduced to prevent the oxidizing of cut section of the PHC bloom during cutting or reheating. The process is very effective to improve the quality of center part of PHC bloom and the rejection ratio because oxidizing of cut section is zero.

-4) Shrinkage of the top part of PHC bloom has greatly improved by Top-heater. As a result, crop loss of top part of Top-heated bloom has reduced by 80 % compared to that of as cast bloom.

1. 開発背景

大同特殊鋼(株) (以下、当社という) 知多工場では、連続鑄造 (CC) 設備 2 基 (No.1CC; モールドサイズ 370 × 510 mm, 2 ストランド, 完全湾曲型, No.2CC; モールドサイズ ϕ 350 mm, 4 ストランド, 完全垂直型) を保有しているが、CC 比率は約 70 % に留まっており、現状、残り 30 % は造塊 (インゴット) 法で製造している。その理由として、次の 3 アイテムがある。第 1 は、鍛練比の制約から保有する連続鑄機の断面サイズでは製造できない大型もしくは広幅製品アイテムである。これらのアイテムは現状、連続鑄機の鑄型よりも約 3 倍程大きな鑄型を用いてインゴット法で製造している。第 2 は、中心性状の品位確保が難しい高 C 鋼種などの鋼種アイテムである。第 3 として挙げられるのは小ロット材である。小ロット材は連続鑄機で鑄造すると鑄造能率を下げるだけでなく、歩留り効果としても造塊材と大

差ないため、生産運用上インゴット対象としている。よってこれらの鋼種を CC 化するためには、大断面鋼塊化並びにその中心性状と小ロット材の歩留りロスを改善できる技術を保有した鑄造機の開発が必要となった。

当社知多工場では以下 3 点のコンセプトをもとに新鑄造機：PHC(Promising Hybrid Caster) を開発し 2004 年 7 月より稼動を開始した^{1),2)}。

①大型製品の製造を可能とするため、鑄片断面積は既存インゴット同等に拡大した。

(既存連続鑄造機対比 3 倍, PHC: 650 × 850 mm, No.1CC: 370 × 510 mm)

②大断面の鑄片内部品質を確保するために、極低速で鑄造しながら鑄造中の鑄片にテーパーを付与できる技術と鑄片切断前に中心部をプレスする鑄片ポンチプレス技術を開発した。

③最終凝固部の引け巣を防止し小ロット材の歩留りを改

2006 年 10 月 11 日受付

* 大同特殊鋼(株)知多工場 (Chita Plant, Daido Steel Co., Ltd.)

善するため、 casting 終了後、 鋳片トップ部を加熱する鋳片頭部加熱装置を搭載した。

本報告では、この新 casting 機 PHC の設備概要、および鋳片品質調査結果について示す。

2. PHC 設備概要

Table 1 に本設備の主仕様、また Fig.1, Fig.2 に設備概要図および操作フロー図を示す。

casting は通常の CC 同様、タンディッシュを用いてモールド内に注湯を行う。一方鋳片の引抜きは約 40 t の未凝固鋳片を取り扱うことになるため、ピンチロールを用いず、ワイヤー昇降方式で行う構造となっている。 casting が終了して、タンディッシュを予熱位置へ退避させた後は、鋳片頭部加熱装置をモールド上へ移動し、シェル内の溶湯を介し

て 2 本の黒鉛電極間でアークを発生させ、約 2 時間の鋳片頭部加熱を行う。凝固完了後、鋳片を傾転し、鋳片中心部をプレスし切断を行い、分塊工場へ熱塊を搬送する。1 ヒート casting 開始から次のヒート casting 開始までのサイクルタイムは約 5 時間程度である。

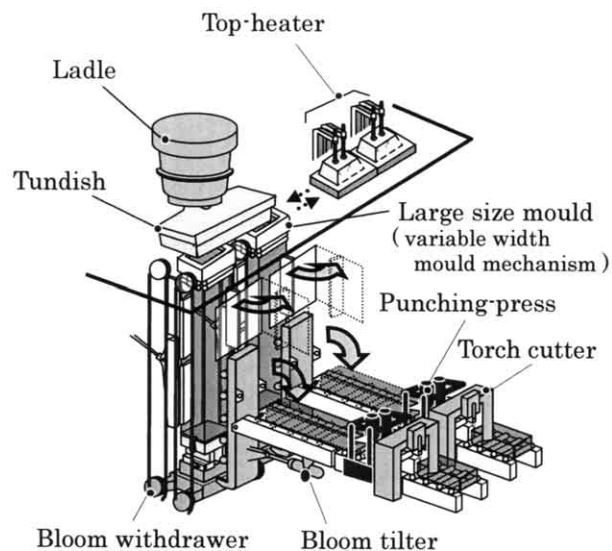
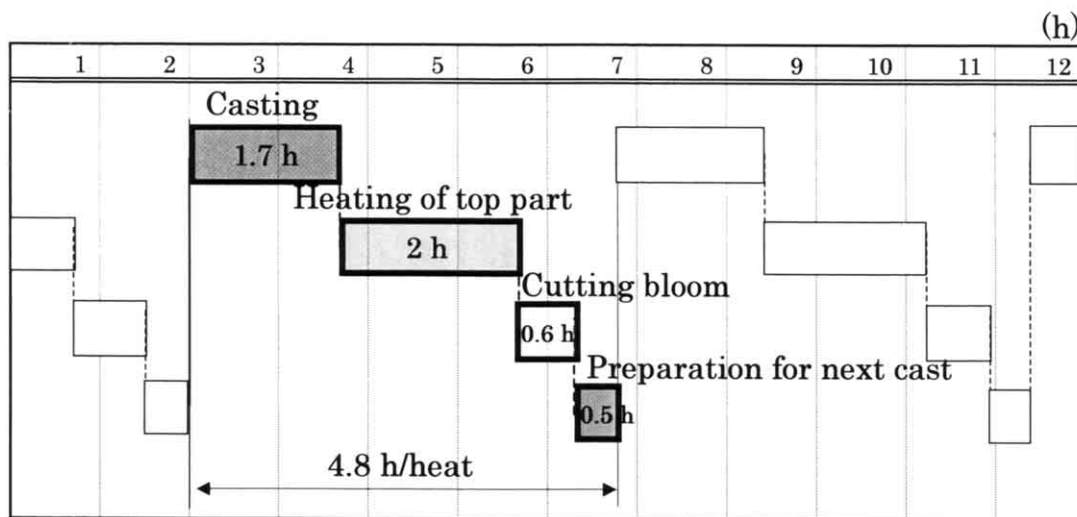


Fig.1. Schematic view of PHC.



- 1st. stage : Steel is cast the same manners as the conventional caster at a speed of 0.1 m/min.
- 2nd stage : After casting, top part of bloom is heated by the Top-heater for 2 hours.
- 3rd stage : After completing solidification, blooms are tilted from vertical to horizontal position.
- 4th stage : Cutting parts of bloom are pressed by the punching press before cutting. One cycle time of casting process is 4.8 hours.

Fig.2. Process flow of PHC.

3. PHC における要素技術の考え方

3. 1 大断面鋼塊の中心性状改善

鋼塊内部に発生するザク欠陥や中心偏析などの中心欠陥は大断面鋼塊化により助長される。またザク欠陥を起点に熱応力により発生する中心割れをスパイダークラックと呼び、鋳片切断時や加熱炉内でこのクラック部に酸化物を生成した欠陥を端面酸化と呼んでいるが、これらの欠陥についても大断面鋼塊化により助長される。中心偏析は固液共存域の拡大と凝固収縮量の増大により濃化溶鋼の吸引（サクション）が助長されるため、端面酸化については断面拡大により熱歪みが大きくなり、スパイダークラックの進展が助長されるためである。これらを解決するために、既存 CC のような電磁攪拌やロール軽圧下などを適用すると、大断面であるがゆえ、設備重厚化による極度の設備コスト増大を招く懸念がある。

そこで PHC においては凝固界面角度を広角化するための極低速鋳造技術、鋳込み中幅変えすることで意図的に鋳片形状に勾配を付与する鋳片テーパ付加技術、鋳片切断前に中心部のみを圧下し、加圧力が少なくても物理的にザ

クを圧着できる鋳片ポンチ圧下技術の3つを中心欠陥改善技術として取り入れることとした。Fig.3 に大鋼塊における中心欠陥に対する改善の考え方および手法について概念フローを示す。

また Fig.4 に鋳片テーパ付加技術、および極低速鋳造技術、Fig.5 にポンチプレス技術について設備および操業概要図を示す。

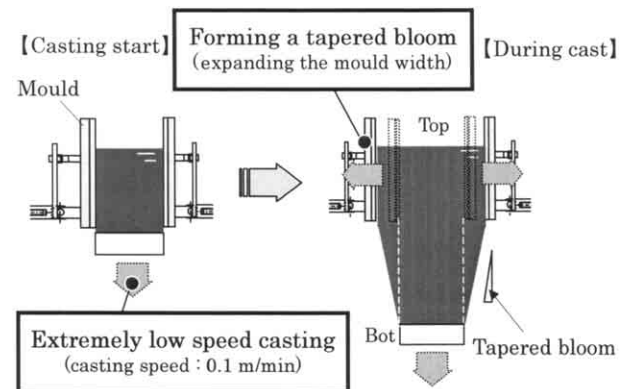


Fig.4. Schematic view of PHC casting.

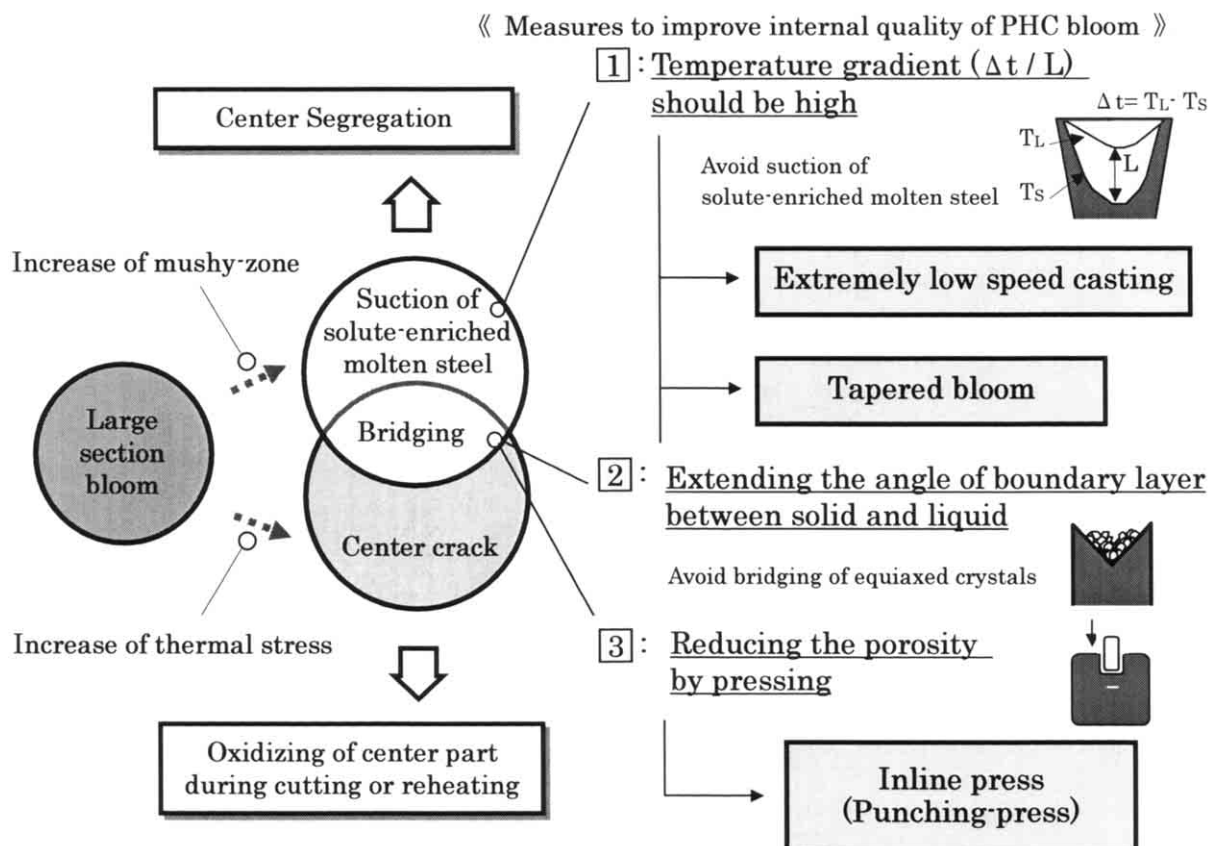


Fig.3. Schematic drawing of improving center quality of PHC bloom.

3. 2 小ロット材の歩留りロス改善

通常CCにおいて casting 中は絶え間なく上部から熱供給があるため、凝固収縮が生じて溶湯が補填される。一方 casting 終了後は上部からの熱供給がなくなるため、最終凝固部が内部に閉じ込められ、連々 cast の最後尾は凝固収縮によってできた引け巣部を切り捨てることになる。

CC においては連々比を上げることでこの歩留りロスの比率を少なくしているが、小ロット材においては、この歩留りロスの占める割合が大きく、歩留り効果として IC と同等のものになってしまう。そこで PHC においては最終凝固部が内部に閉じ込められないように、 casting 終了後も絶え間なく熱供給ができる cast 片頭部加熱技術および装置（トップヒーター）を開発した。その設備および操業概要図を Fig.6 に示す。

4. 各要素技術による品質改善効果

これまで紹介した各要素技術（ cast 片頭部加熱技術、極低速 casting 技術、 cast 片テーパ付加技術、 cast 片ポンチ圧下技術）を具備した大断面 casting 機：PHC を開発し、2004/7 月

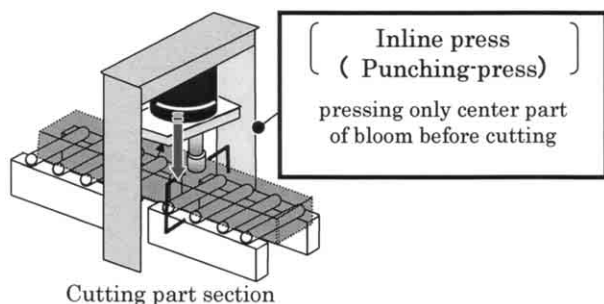


Fig.5. Schematic view of the Punching-press.

より稼動を開始した。以下に PHC casting 材における各要素技術に対する品質改善効果について示す。

4. 1 極低速 casting および cast 片テーパ付加による中心偏析改善効果

Fig.7, Fig.8 に極低速 casting で casting した PHC 材の cast 片横断および縦断マクロを示す。極低速 casting の効果により cast 片バルジングは少ないものとなっており、またマクロ偏析はインゴットと似たような逆 V 偏析が混在したマクロ組織である。

Fig.9 に PHC および CC 材（当社知多工場 ICC 材、断面サイズ：370 × 510 mm、M, S, F-EMS 具備）の中心偏析の比較を示す。PHC 材は CC の約 3 倍の断面積にもかかわらず、CC 材対比偏析度を改善できている。これは極低速 casting

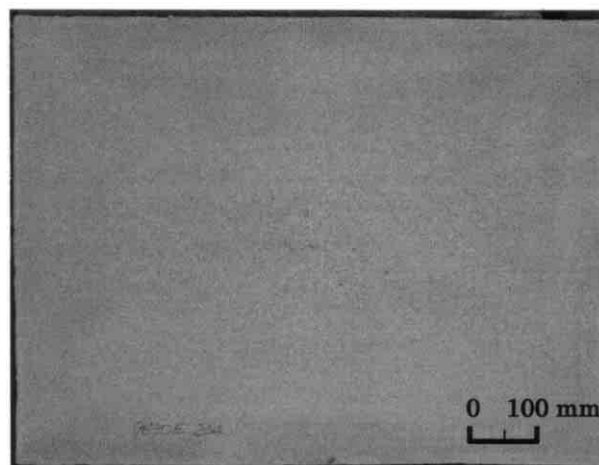


Fig.7. Macro etched structure of transverse section of PHC bloom.
(Steel grade: 0.4 % carbon steel, Casting speed: 0.10 m/min)

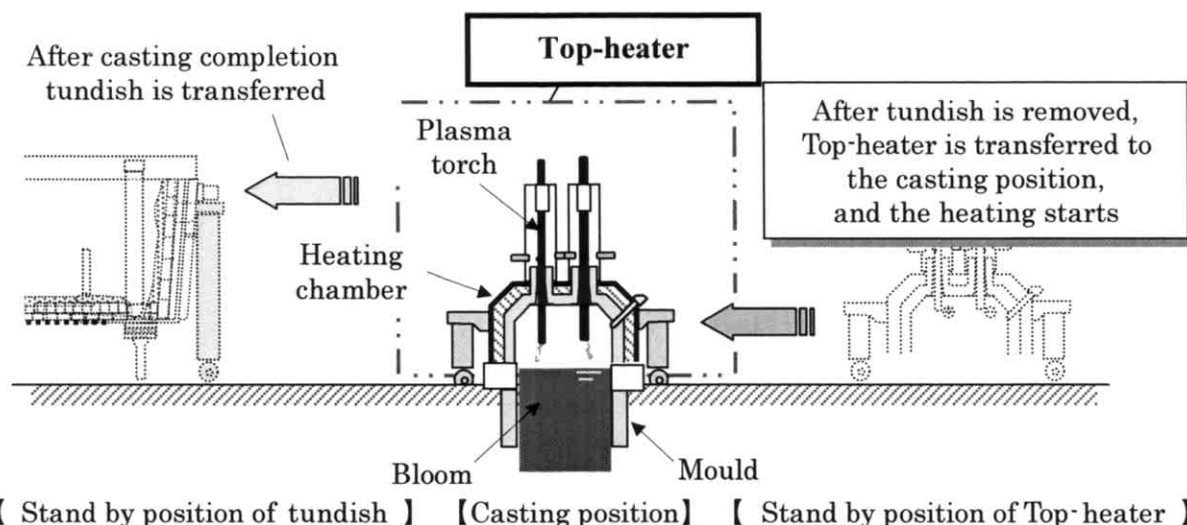


Fig.6. Schematic view of the Top-heater.

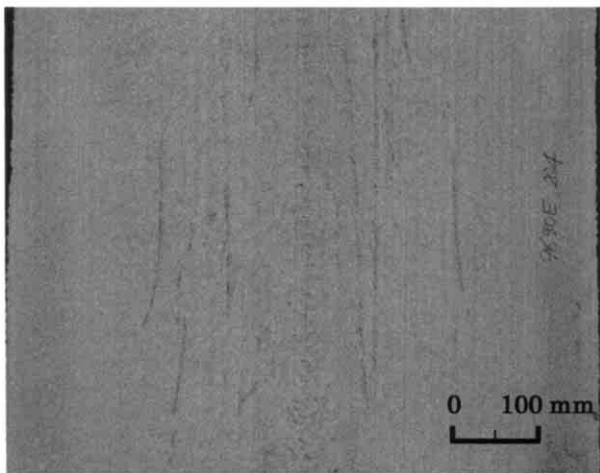
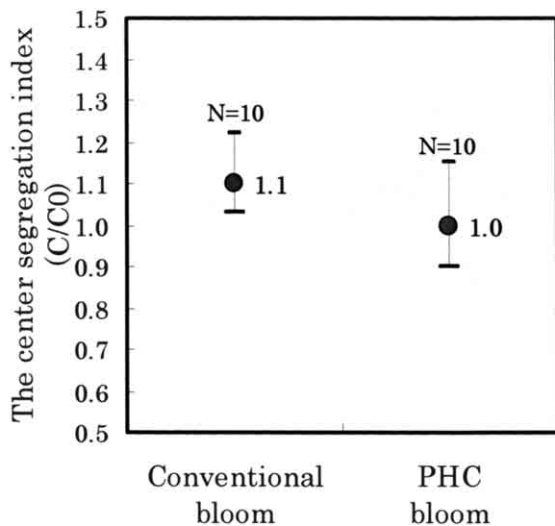


Fig.8. Macro etched structure of longitudinal section of PHC bloom.
(Steel grade: 0.4 % carbon steel, Casting speed: 0.10 m/min)



■ Center segregation (C/C₀)

Inspecting the chemical composition (carbon) in the center of bloom.

$\left[\begin{array}{l} C : \text{Center part} \\ C_0 : \text{Ladle} \end{array} \right]$

Sampling by 10 mm ϕ drill

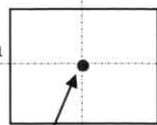
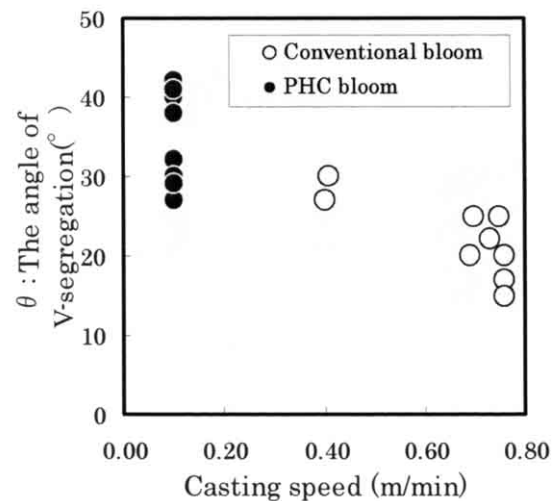


Fig.9. The comparison of the center segregation index.
(Steel grade: 0.4 % carbon steel, Casting speed: 0.10 m/min)

造による凝固界面角度が広角化し、濃化溶鋼のサクションを抑制できたためと推定される。

Fig.10 には PHC および CC 材の V 偏析角度の比較を示しているが、PHC 材は V 偏析角度が CC 材対比広角化しており、極低速鑄造により凝固界面角度が広角化していることがわかった。

さらに偏析しやすい高 C 鋼において、極低速鑄造だけ



■ The angle of V-segregation

Measuring the angle of V-segregation of a longitudinal section of PHC bloom.(150 mm pitch)

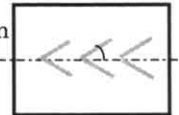


Fig.10. The comparison of the angle of V-segregation.
(Steel grade: 0.2 % carbon steel, Casting speed: 0.10 m/min)

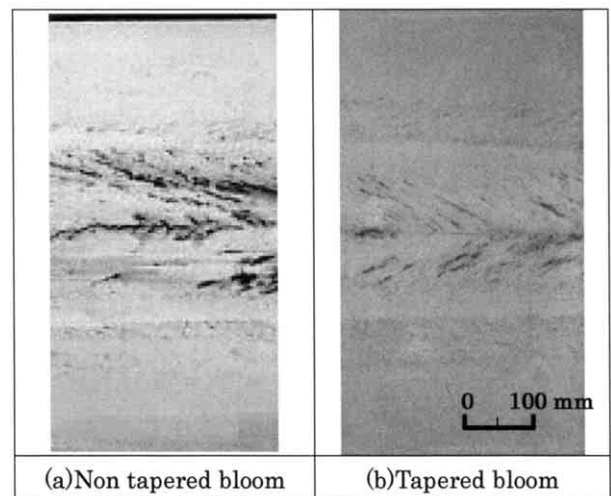


Fig.11. Improvement of internal quality by variable width mould mechanism.

(Steel grade: 1.0 % carbon steel, Casting speed: 0.10 m/min)

では偏析改善効果が不十分であるため、鑄片テーパ付加操業技術を実施することで、中心偏析の改善を試みた。

Fig.11 に鑄片テーパ付加有無による鑄片マクロの比較を示す。鑄片テーパ付加材はザクや V 偏析が大幅に軽減されていることがわかる。Fig.12 に鑄片テーパ付加による V 偏析角度への影響を示す。鑄片テーパ角度拡大に伴い V 偏析角度が広角化している。これは鑄片テーパ付加により、極低速鑄造に加えて物理的に鋼塊形状に勾配

が付与され、より一層凝固界面角度が広角化したためと推定される。

4. 2 鋳片ポンチ圧下技術による端面酸化改善効果

前述したように大鋼塊は凝固後の熱歪みが大きいため、鋳片中心部に熱歪みによるスパイダークラックが発生し、

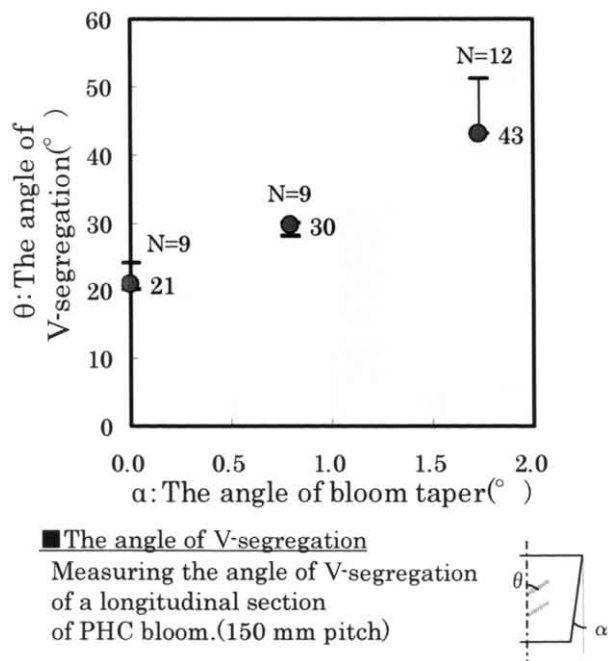


Fig.12. Relation between the angle of V-segregation and the angle of bloom taper.
(Steel grade: 1.0 % carbon steel, Casting speed: 0.10 m/min)

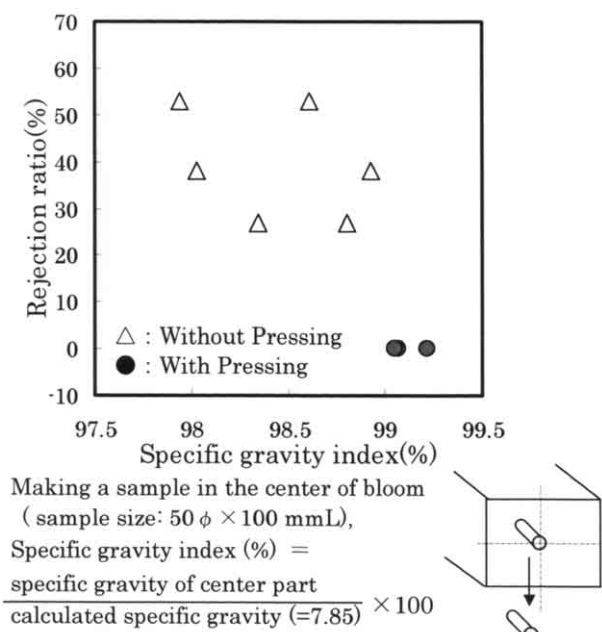


Fig.13. Relation between specific gravity index and rejection caused by oxidizing.

ガス切断時や加熱炉での大気吸引による端面酸化が発生する。PHC においてはポンチ圧下技術適用により、スパイダークラックを物理的に圧着することで端面酸化改善を実施した。

Fig.13 に鋳片の中心充填率と端面酸化発生率の関係を示す。スパイダークラックが発生した鋳片は中心充填率も低く端面酸化発生率も高位となっている。一方ポンチ圧下適用材はスパイダークラックが圧着しているため中心充填率が向上し、端面酸化の発生を皆無にすることができた。

4. 3 鋳片頭部加熱による引け巣改善効果

Fig.14 に PHC で製造した最トップ鋳片の縦断マクロを示す。頭部加熱により引け巣長さを約 80 % 低減することができている。

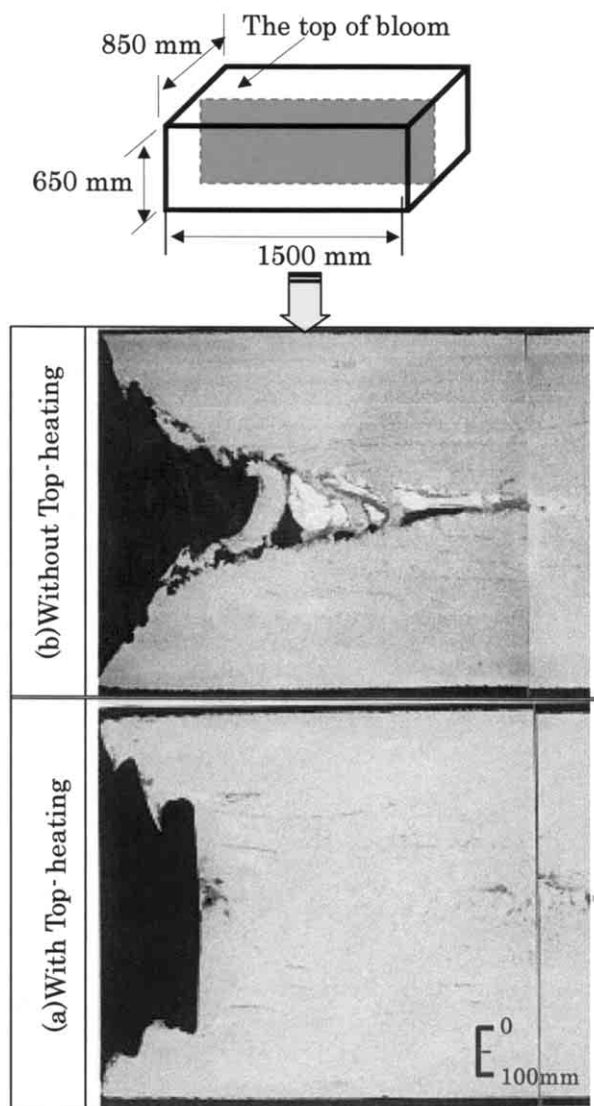


Fig.14. Effect of Top-heating.
(Steel grade: 0.4 % carbon steel)

5. 結 言

更なる連鑄比率向上を図るため、阻害要因となっている小ロット材の歩留り向上および大鋼塊の中心欠陥改善を目的に、4つの要素技術を保有した大断面鑄造機 (PHC) を開発した。その効果について以下にまとめる。

- (1) 中心欠陥が発生しやすい大断面鋼塊において、極低速鑄造 ($\approx 0.1 \text{ m/min}$) 化することで、偏析およびザク欠陥改善を図った。その結果当社 ICC 対比偏析度を改善することができた。
- (2) 高 C 鋼種については極低速鑄造だけでは偏析改善が不十分であるため、鑄込み中幅変えすることで鑄片に勾配を意図的に付与する鑄片テーパ付加技術を適用し、高 C 鋼種においてもザクや V 偏析が大幅に軽減することができた。
- (3) 端面酸化改善を目的に、大断面化により助長されやすいスパイダークラックを圧着するため、切断前に鑄片中心部のみを圧下するポンチ圧下技術を適用した。ポンチ圧下技術適用により、スパイダークラックを物理的に圧着し、端面酸化発生率を皆無 (0 %) にすることができた。
- (4) 歩留り向上のため、鑄造終了後に鑄片のトップを加熱する鑄片頭部加熱技術を開発した。鑄片頭部加熱技術の適用により、最トップ鑄片の引け巣部を約 80 % 低減することができた。

(文 献)

- 1) S.Kumura: The 7th Nordic-Japan Symposium Science and technology of process metallurgy, 2005, 51.
- 2) 江口潤, 久村総一郎, 山口智則, 岸幹根: 材料とプロセス, 19(2006), 799.