

高Si鋼の高速鋳造技術の開発

Development of High Speed Continuous Casting Techniques of High Silicon Steel

新日本製鐵(株)八幡製鐵所

沖森麻佑巳* (現：光製鐵所)

奥村 裕彦 (現：君津製鐵所)

土田宗広

1. 緒言

八幡製鐵所・第三製鋼工場では、湾曲式連鋳機で高[Si] (3%以上) 鋼の250mm厚みの鋳片を鋳造している。今回、生産能力向上と加熱炉・燃料原単位削減のコストダウンをはかるべく鋳造速度を従来の1.2 m/min から 1.6 m/minに高速化した結果、鋳片に内部割れと中心割れが発生した。本論文では、これらの割れの防止策として開発した連鋳二次冷却帯での鋳造技術を報告する。

2. 高(Si) 鋼の高速鋳造における課題

2・1 加熱炉の装入温度アップによるコストダウン

鋳片の熱延前の加熱炉における燃料原単位削減には鋳片の装入温度アップ即ち鋳造速度アップが有効である。Fig. 1に示すように、鋳造速度 V_c を従来の1.2 m/min から 1.6 m/minに高速化すると、装入温度は650 °C増加し加熱時間は従来の1/3にまで減少し、燃料の削減が可能となる。

2・2 内部割れと中心割れの発生

1.6 m/minで高速鋳造した高[Si] 鋼の熱延板でブリストア (膨れ状欠陥) が発生し、特に鋳片のL面 (Loosed side 湾曲上部) 側に多発した。当欠陥は鋳片のL面側の内部割れと鋳片中央部の中心割れに対応することが明らかとなった。これらの割れの鋳片表面からの位置と鋳片組織の関係を調査した。Fig. 2に示すように、内部割れはL面側の表層から約50mmの柱状晶組織に多く発生しており、F面側 (Fixed side 湾曲下部) ではL面側柱状晶の沈降により等軸晶化¹⁾しており熱延板ではブリストアの発生が極めて少ないと考えられた。鋳片中心部は、高速鋳造ではL面側は等軸晶化しておらず中心部にポロシティが発生しており、中心割れはこのポロシティに起因していることが明らかとなった。以上から、高速鋳造での鋳片の内部割れとポロシティの発生を防止する技術の開発が必要となった。

3. 高速鋳造時の割れ発生防止技術

3・1 ロール間バルジングによる内部割れ

(1) $V_c = 1.2$ m/min + 二次冷却パターンAの場合：

Fig. 3に示すように従来の $V_c = 1.2$ m/minにおいては二次冷却パターンはAで、最大のロール間バルジングはFig. 3のXのように約0.2%程度である。その結果発生した内部割れは軽微であり、熱延板はブリストアが発生しなかった。

(2) $V_c = 1.6$ m/min + 二次冷却パターンAの場合：

二次冷却パターンAで $V_c = 1.6$ m/minの鋳造を実施し、Fig. 4のように鋳片幅中央で鋳造方向の断面の内部割れを調査

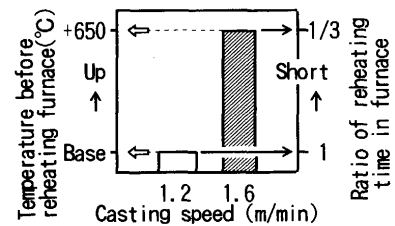


Fig. 1. Effects of increase of casting speed in CC.

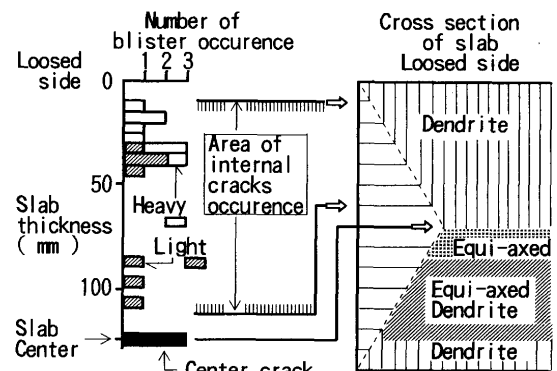


Fig. 2. Relationship between blister and solidification structure of silicon steel.

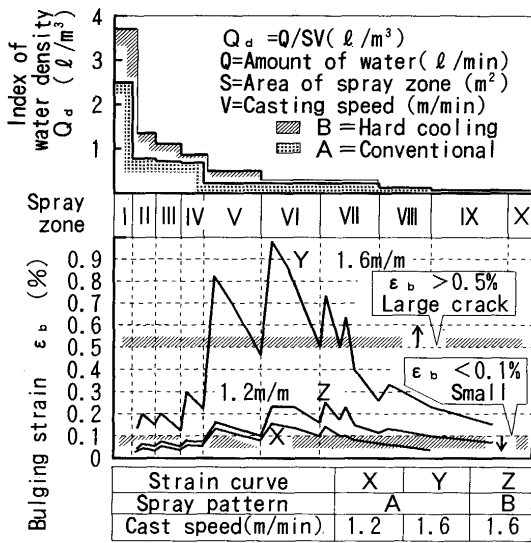


Fig. 3. Relationship between bulging strain and spray pattern of CC.

した。当図のように内部割れの表層から発生開始点までの厚みMと終了点までの厚みNを調査したところ、II~IXゾーンにおいて長さ40~50mmの内部割れが多量に発生していることが明らかとなった。この場合の最大のロール間バルジング歪みは、Fig. 3のYのように約0.9%となり、内部割れ評点も悪化し、熱延板のブリスターとなることを裏付けている。

(3) $V_c = 1.6 \text{ m/min}$ + 二次冷却パターンBの場合：

上記(2)に対して、二次冷却パターンB(上部強冷却パターン)を設定し $V_c = 1.6 \text{ m/min}$ で铸造した。当場合のロール間バルジング歪みはFig. 3のZとなり、前述(1)の場合のXとほぼ同等になっている。その結果、Fig. 5に示すように内部割れも軽微化して約15mm程度となり、熱延板のブリスターの発生も無くなった。

3・2 熱歪みによる内部割れ

上述のように、2次冷却帯の冷却を強化したが未だ軽微な割れが発生していた。この原因として熱歪みによる内部割れが予想された。

(1) エッジ部の冷却水省略による熱歪み

高[Si]鋼の高速铸造では、铸片のエッジ部を強冷却すると矯正点においてエッジ部の横割れが発生するので、Fig. 6のケースEのようにIII~VIIゾーンではエッジ部に冷却水をかけないパターンを従来から採用していた。このパターンにより、铸片の幅方向の表面温度分布が幅中央部は700~800℃、エッジ部は900~1000℃と不均一になっており、その結果として熱歪みが発生していると考えられた。

(2) エッジ部冷却の最適化

上記(1)の熱歪みを解消するために、Fig. 6のケースFのようにIII~IVゾーンで铸片のエッジ部を冷却して铸造した。

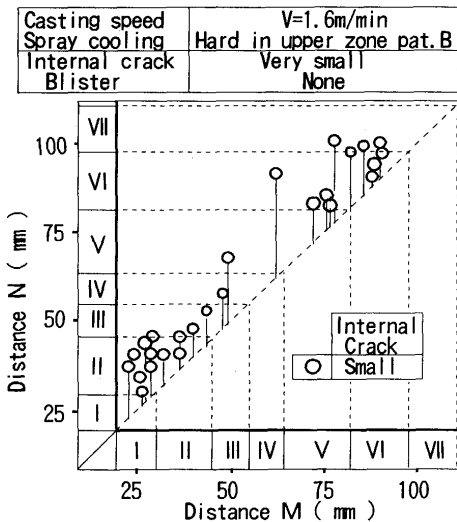


Fig. 5. Position and length of internal cracks by improved cooling.

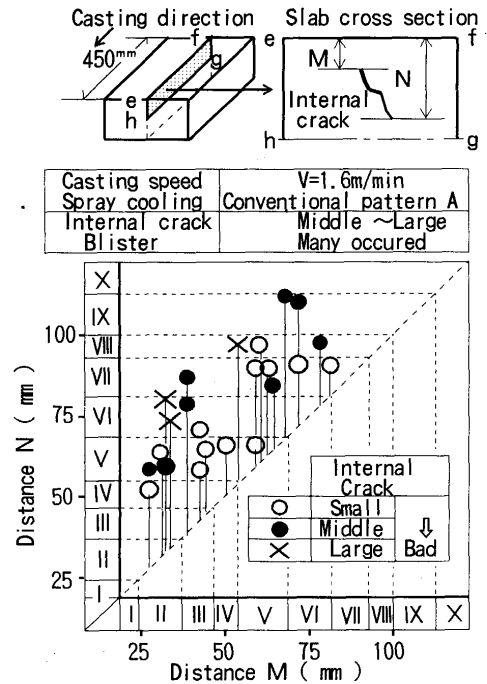


Fig. 4. Position and length of internal cracks in conventional cooling.

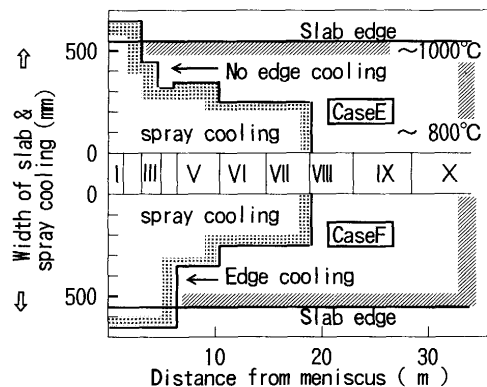


Fig. 6. Slab edge cooling in III~IV zone.

Fig. 7に示すように、鋳片断面の内部割れの発生個数を調査した結果、III~IVゾーンに相当する内部割れが減少することが確認された。ケースFでも矯正点でのエッジ割れは発生しなかった。

3.3 矯正歪みによる内部割れ

Fig. 7には上述の熱歪み割れ以外に、表層80~110mmに内部割れが未だ残っている。この割れは湾曲連鋳機の矯正点(鋳型メニスカスから16.8m)付近にあることから、鋳片の矯正による割れと考えられた。この割れに対して矯正点前後の鋳片に圧縮力をかけて内部割れの発生を防止する圧縮鋳造法(Compression Casting)を適用し鋳造試験を実施した。その結果、Fig. 8に示すように、矯正点前後の内部割れが半分以下に減少することが確認された。

3.4 センター・ポロシティによる中心割れ

(1) 中心割れ発生の原因

①等軸晶化不足：高[Si]鋼の高速鋳造では鋳片のL面側が等軸晶化せず粗大な柱状晶が発達しブリッジをつくり、ブリッジ間にポロシティが発生し中心割れとなる。

②溶鋼の供給不足：Fig. 9のように $V_c = 1.2$ m/minの場合のロール間隔パターンPを $V_c = 1.6$ m/minに適用すると、中心割れが発生した。 $V_c = 1.6$ m/minでは凝固先端は鋳型メニスカスから36m付近の水平部にあり、 $V_c = 1.2$ m/minの場合より約10mも矯正点から遠くに伸びている。こうした状態では凝固先端部への溶鋼の供給が不足し、完全凝固時に体積収縮分を補うことができず、センター・ポロシティが発生し中心割れになると考えられている²⁾。

(2) 低温鋳造と電磁攪拌適用

柱状晶を等軸晶化するためにタンデイッシュ温度を低目とし電磁攪拌を適用し効果を調査した。Fig. 10に示すように $V_c = 1.2$ m/minでは低温鋳造と電磁攪拌の効果が明らかであるが、 $V_c = 1.6$ m/minでは効果が得られなかった。

(3) ロール間隔の最適化

$V_c = 1.6$ m/minのロール間隔パターンPに対して、鋳片の収縮分に見合ってロール間隔を順次狭くするパターンQを採用して鋳造試験をした結果、中心割れは皆無となった。

4. 結言

湾曲式連続鋳造機で高[Si]鋼を高速で鋳造するに際し、内部割れ発生に対しては①2次冷却帯の上部強冷、②鋳片エッジ部最適冷却、③圧縮鋳造、中心割れ発生に対しては④水平部ロール間隔最適化の諸技術を適用し、 $V_c = 1.6$ m/minの高速鋳造が可能となった。

文献

- 1) 沖森麻佑巳, 土田宗弘, 稲岡数磨: 鉄と鋼, 80(1994), T25
- 2) 沖森麻佑巳, 西原良治, 福永新一, 岡本吉平栄: 鉄と鋼, 80(1994), T120

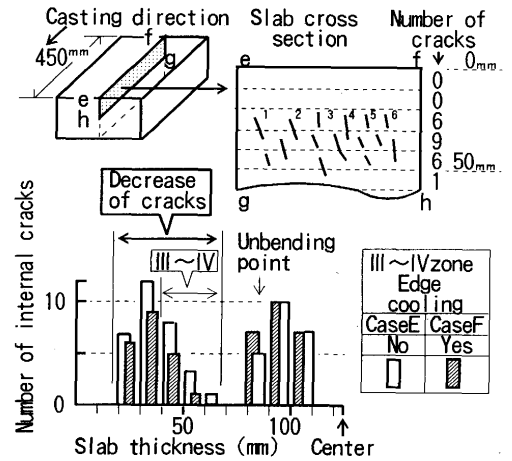


Fig. 7. Decrease of internal cracks by slab edge cooling in III~IV zone.

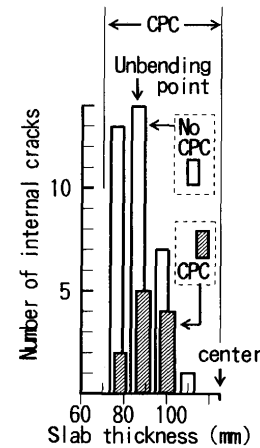


Fig. 8. Decrease of internal cracks by CPC operation.

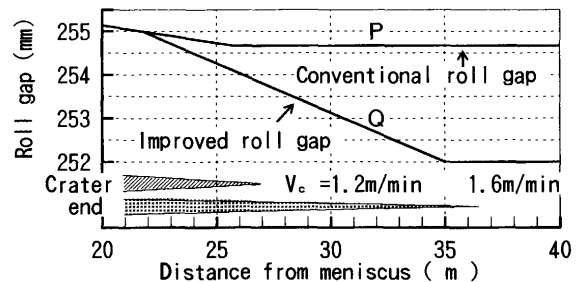


Fig. 9. Roll gap at horizontal zone in CC machine.

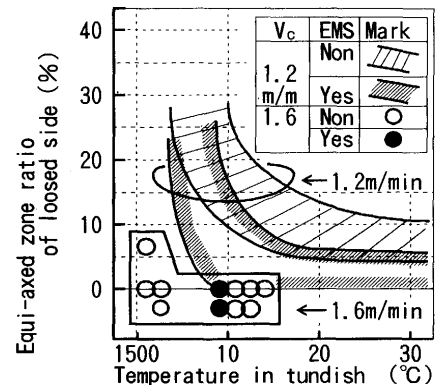


Fig. 10. Effect of electromagnetic stirrer on equi-axed zone ratio.