

討11 鋳型内凝固の不均一性に起因する鋳片表面疵の実体とその防止策

日本鋼管㈱技研福山研究所

○鈴木幹雄

宮原 忍

福山製鉄所

福味純一

内田繁孝

石川 勝

半明正之

1. 緒言

連铸鋳片の表面欠陥の中で縦割れや横割れに代表される割れ性欠陥は無手入熱片装入(HCR)や直接圧延(HDR)を安定して実施するためには解決しなければならない最大の問題である。前記欠陥の発生機構やその防止策に関しては、従来より多くの研究がなされて欠陥防止に貢献してきたが¹⁾²⁾、近年、連铸機の生産性向上を目指し高速铸造化が指向されてきたため、これらの欠陥を安定して防止することが不十分となり再度詳細な検討がなされつつある。日本鋼管においても高速化に伴い派生する問題点を解決するため、表面割れ性欠陥に関して種々の調査・研究を続けてきた。

本稿では、各種表面割れの中で鋳型内凝固の不均一性に起因して発生する縦割れと短辺面横割れの調査結果およびその防止策について報告する。

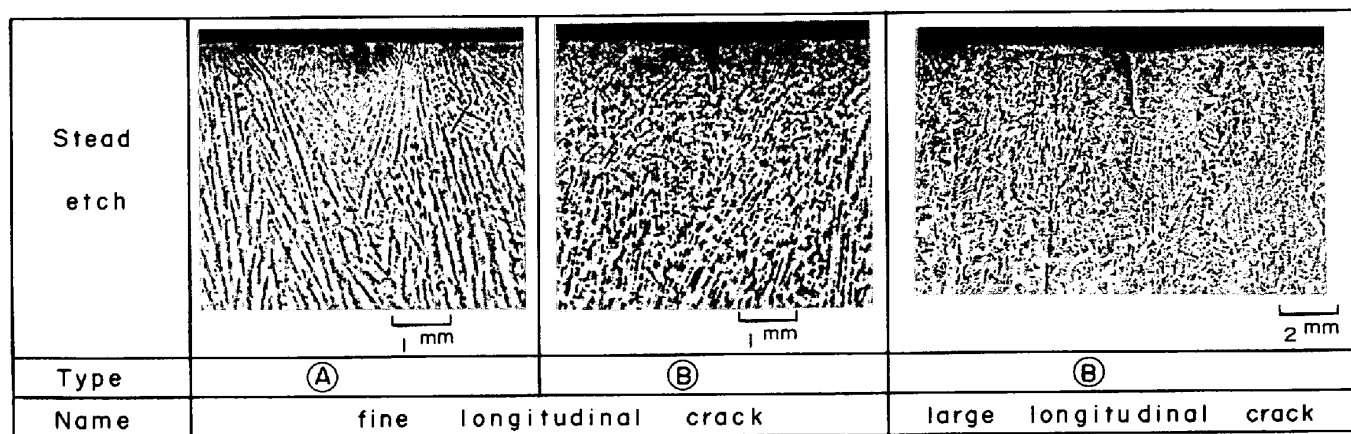
2. 縦割れの発生状況とその冶金的特徴

2.1 縦割れの発生状況とその分類

縦割れは外見上の特徴から凹みを伴う縦割れと凹みの無い縦割れとがあり、縦割れの長さは5mm程度から数mにおよんでいる。5~20mmの微小縦割れは凹みが無く割れ深さは2~3mmであり、長さ20mm以上の大縦割れは凹みを伴い、長くなる程深くなる。数mの巨大縦割れの深さは12~13mmである。全縦割れに占める微小縦割れの割合は約70%である。鋳片巾方向の発生分布をみると、大縦割れは巾中央に多く発生し、微小縦割れについては特に、その傾向は無い。また発生頻度は低いがコーナーから50mm範囲に発生するコーナー縦割れがある。

2.2 各種縦割れの冶金的特徴

縦割れの断面形状をみると、微小縦割れについては割れ先端が丸味をおびたものと線状に伸びているものとがあり、それぞれAタイプ、Bタイプと分類した。大縦割れの先端はBタイプであり、またコーナー縦割れについてもA、Bタイプがある。縦割れの代表例をphot.1に示す。縦割れ部についてP、Mnの偏析、モールドパウダーの有無、割れ先端内部の形態を調査した。その結果、割れ深さの1/2位置には全部の割れに偏析が認められ、割れ先端から30μ内部の位置では、Aタイプの縦割れに偏析が存在しBタイプには偏析が無かった。大部分の縦割れにモールドパウダーが検出された。また、割れ先端の内面を観察するとAタイプでは凝固界面、Bタイプではオーステナイト粒界破面であった(Phot.2)。



Phot.1 Microphotograph of sections normal to typical longitudinal cracks

2.3 縦割れに及ぼす素鋼成分、各種操業要因の影響

2.3.1 素鋼成分の影響 素鋼成分の中でCとSが縦割れに特に影響が大きい³⁾。Cが0.10~0.16%の範囲で発生頻度が高く、Sが0.010%以上で多く発生する。Cの影響については包晶反応時の変態応力で説明する試みがなされており⁴⁾、Sについては高温の脆性温度範囲の拡大とSulfideの液膜脆性によって説明されている⁵⁾。

2.3.2 操業要因の影響 操業要因の中で引抜速度、モールドパウダー、湯面レベル変動、鑄型長辺面テーパーが縦割れに影響する。引抜速度が増大する程縦割れ発生が多い。モールドパウダーについては、Fig1.に示す様にパウダー粘性が低い程縦割れが減少する。また顆粒パウダー①は通常のカーボン配合であるのに対し、顆粒パウダー②はカーボン量を下げ顆粒表面にカーボン被覆したもので、縦割れ低減効果が大きい。一方、低粘性パウダーを使用するとコーナー縦割れが発生する傾向にあるが、これは長辺面テーパーの強化により防止できる(Fig2)。また、湯面レベルの変動が大きくなる程縦割れが多発する。鑄型振動条件によりパウダー流入量に変化することが知られているが⁶⁾、振動条件の変更試験の結果では縦割れ発生に差が無かった。

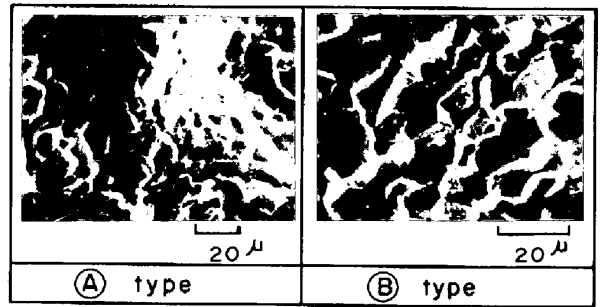
2.4 鑄型内凝固、抜熱特性と縦割れとの関係

鑄型銅板内に多数の熱電対を埋込み、縦割れ発生時の銅板温度変化を測定した。縦割れが多発したヒートでは銅板温度変動も大きい。Fig3に縦割れ発生時の銅板温度の経時変化を示した。銅板温度の急激な低下が生じた時期に相当する鑄片位置に縦割れが発生していた。この時の抜熱量低下はメニスカス下190mm位置で約25%であった。また鑄型巾方向では100mmにわたって温度低下域が認められた。

次にAuをトレーサーとして鑄型内に添加して縦割れ部の凝固シェル形状を調査した。縦割れ部には凝固遅れが認められた。割れ発生は凝固シェル厚均一度 $\epsilon(=dm/d)$ と凝固遅れ巾とにより説明できた(Fig4)。長辺面テーパー変更時の ϵ の鑄型高さ方向の推移をFig5に示した。強テーパーの場合には、全巾にわたって均一な凝固シェルを形成できるが、弱テーパーではメニスカス直下の ϵ が小さく特に、コーナー側が悪い。

2.5 鑄型内のパウダー溶融挙動

鑄型内パウダーの溶融挙動を調査するためパウダー層



Phot.2 Scanning electron micrograph of fracture surface at bottom of longitudinal crack

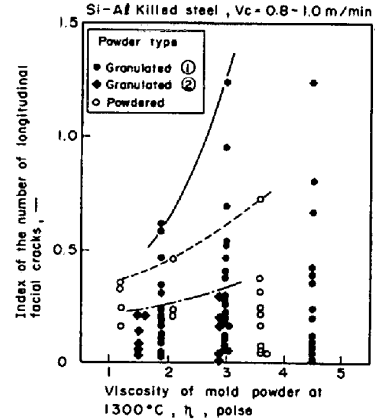


Fig.1 Effect of viscosity of mold powder on longitudinal facial crack.

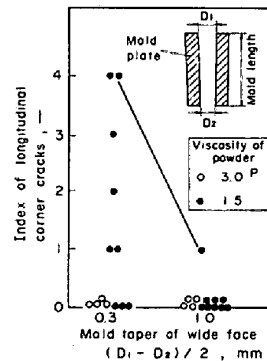


Fig.2 Effect of mold taper of wide face on longitudinal crack.

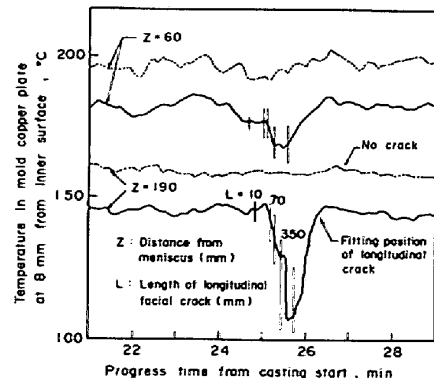


Fig.3 Temperature variation in mold copper plate at formation of longitudinal crack.

内の温度分布を測定した。Fig.6 に3種類のパウダーの代表的な温度分布を示した。温度勾配の変化からパウダーの熔融過程を①期：表面から緩やかに温度上昇する時期、②期：急激に温度上昇する時期、③期：②期より温度勾配が小さい時期、④期：温度勾配が0に近い時期の4期に分類できる。顆粒パウダーを使用した鑄型内から試料を採取し、①～④期に相当する位置を顕微鏡で観察した結果をphot.3に示す。①期ではパウダー原形を留めており、②期では顆粒間の結合は未発達であるが顆粒内の部分的な焼結、熔融が始まっている。③期では顆粒間の結合が起っている。④期は完全熔融スラグである。③期の長い○パウダーは縦割れ発生が少なく、温度分布からパウダーの良否判定ができる可能性がある。

3. 縦割れ発生機構とその防止策

凝固シェルが形成されると熱収縮やシェル内温度分布により熱応力が発生する。また鑄型と鑄片間には摩擦力が生じる。凝固の初期段階で巾方向のシェル厚の不均一が存在すると凝固遅れ部に応力集中が起こり易く、引張応力がシェル強度以上になると凝固界面に割れが発生し、凝固界面前面の濃化溶鋼が割れ部に浸入する。濃化溶鋼の浸入した脆弱部は、直ちに表面まで割れが開口し応力が緩和される。これがAタイプの微小縦割れコーナー縦割れである。一方、表面まで開口しない場合には表層下の内部割れとなる。その一例をphot.4に示した。その後、更に新たに引張応力が発生すると、割れの拡大成長が起こりオーステナイト粒界に沿って進行し、Bタイプの縦割れとなる。その大きさは初期凝固の不均一度の割合や引張応力の大きさによって決まる。

初期の凝固シェル厚の不均一の発生原因としてはパウダーの局所的な過剰流入、湯面レベルの急変動、湯暴れなどがあり、実操業では低粘性パウダーの使用、渦流距離計による湯面レベルの自動コントロール、長辺面テーパの強化などの対策を採り、縦割れ低減に効果をあげている。Fig.7に縦割れ発生機構とその防止策をまとめた。

4 短辺面横割れの発生状況とその冶金的特徴⁷⁾
短辺面横割れはオシレーションマークの谷間に沿って発生する。phot.5に短辺面横割れを示した。割れ深さの1/2位置と割れ先端から内部へ30μ位置でP, Mnの偏析を調査した結果、いずれの位置でも偏析が認められた。割れ内部にはパウダーが

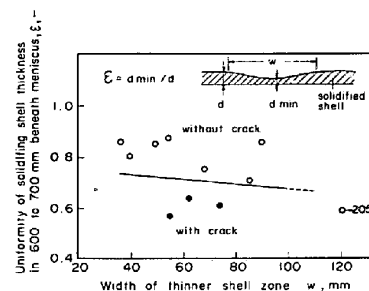


Fig.4 Relation between formation of longitudinal cracks, shell uniformity and thinner shell width

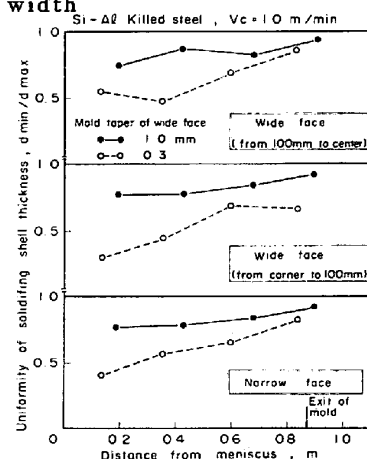


Fig.5 Effect of mold taper of wide face on shell uniformity.

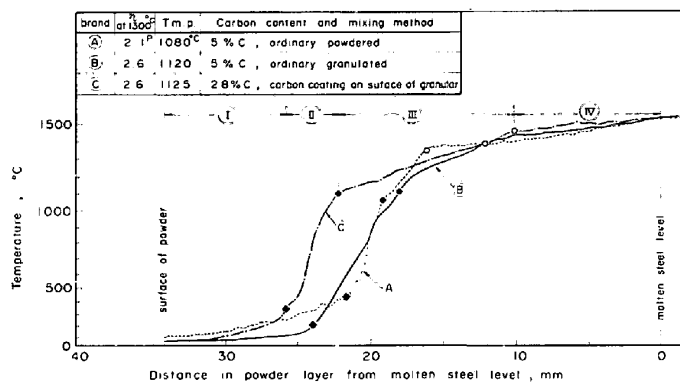
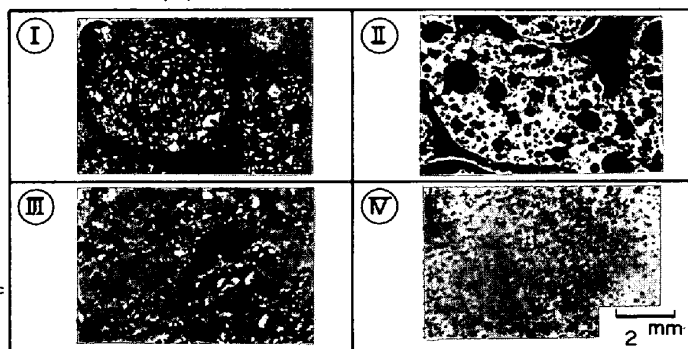


Fig.6 Temperature distribution of powder layer in C.C. mold



Phot.3 Microphotograph of each melting stage of powder in C.C. mold.

検出された。割れ部の凝固シェル厚には引抜方向に大きな不均一性がみられた。短辺面横割れの発生位置はコーナーよりに発生する傾向があり、割れ深さは15~20mmにおよび内部割れとつながっている場合もある。

5. 短辺面横割れの発生機構とその防止策

短辺面横割れの発生機構は縦割れと同様であり、鋳型内の凝固の不均一が引抜方向で発生した場合に生ずる。引抜方向の凝固シェル厚の不均一性を生む原因は、湯面の急上昇によるパウダーの異常流入、浸漬ノズルの吐出流によるシェルの再溶解や鋳型と鋳片間に形成する空隙による抜熱低下などが考えられる。そして、鋳型と鋳片間の摩擦力やシェル内の熱応力などで凝固界面にき裂が入り濃化溶鋼の浸入が起こり、表面まで開口する。その後鋳型直下の2次スプレーによる熱応力やバルジング矯正などにより割れが拡大成長していくと考えられる。

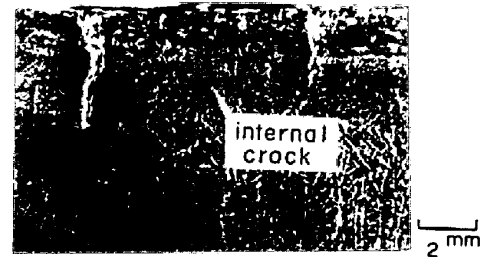
短辺面引抜方向の凝固シェル厚の不均一の防止策として、短辺面鋳型についてメニスカス直下強テーパ-下部弱テーパ-の多段テーパ-鋳型の試験をした Fig.8 に鋳型内凝固シェルプロフィールを示した。通常の直線テーパ-鋳型に比較して多段テーパ-では、引抜方向の凝固の不均一が減少している。この結果、短辺面横割れは1/5以下に減少した。

6. 結 言

連鋳鋳片表面欠陥の中で縦割れと短辺面横割れについて実体調査と実機試験とを実施し、それらの結果から縦割れ、短辺面横割れの発生機構について検討した。そしてこれら欠陥の防止策を実施した結果、割れを大巾に低減させることができた。

参考分献

- 1) 大井 浩：第40-41回西山記念講座，(1976)，P103~
- 2) J. K. BRIMACOMBE et al：Met. Trans, 10B(1979)P279~
- 3) 宮下芳雄ほか：鋼管技報, No.93 (1982), P56~
- 4) 三隅秀幸ほか：学振19委，凝固 286(1980,9)
- 5) W.T.LANKFORD:Met. Trans, 3(1972)P1331~
- 6) 川上公成ほか：鉄と鋼，67 (1981) P1190~
- 7) 福味純一ほか：鉄と鋼，68 (1982) S161



Phot. 4 An example of subsurface internal crack

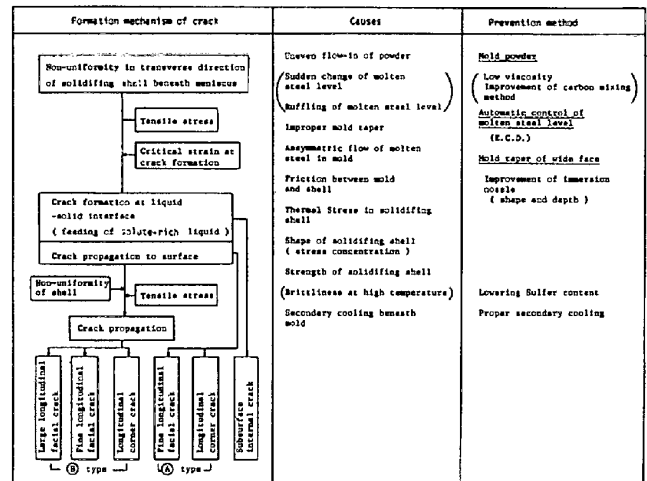
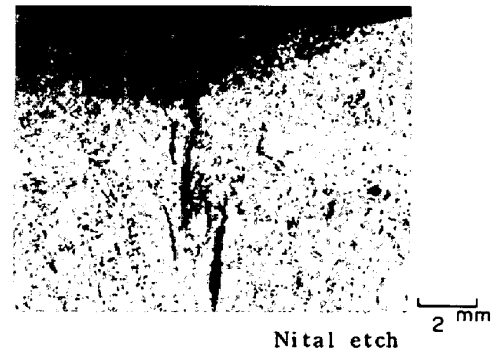


Fig.7 Formation mechanism of each longitudinal crack and prevention method



Phot. 5 Microphotograph of transverse crack at narrow face

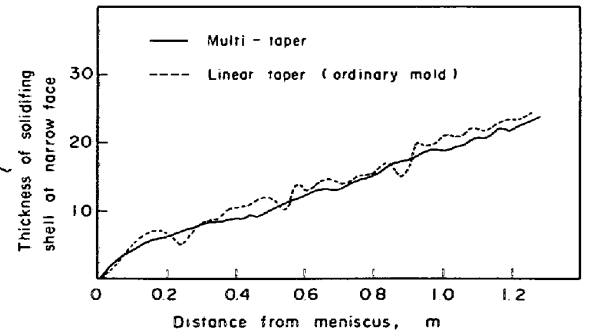


Fig. 8 Effect of multi-taper on shell formation of narrow face in C.C. mold