

討 7

内部割れにおよぼす2次冷却とロールピッチの影響
(連続鋳造における内部割れの生成機構について 第2報)

新日本製鐵(株) 名古屋製鐵所 井上俊朗 小舞忠信 森 紘一
加藤 郁 秋田靖博

1. 緒言

前報で述べたごとく、当所第2製鋼工場の10.5m R湾曲型連続鋳造機において、高速化に伴い生成する内部割れはロール間バルジングに起因し、その防止対策として2次冷却の強化が有効であることを示した。また、その時生成する内部割れは、凝固進行中固-液界面近傍に発生し、逐次成長していくことを明らかにした。本報告は、内部割れの鑄片における生成位置から連続鋳造機での生成位置との関係について検討し、更に、①ロールピッチの縮小、②2次冷却帯延長の二点について設備改造を行い、内部割れの発生位置の変化を調査し、その結果、内部割れの防止対策および設備設計に関する知見を得ようとしたものである。

2. 連続鋳造設備および設備改造の概要

図1に当所の連続鋳造設備概略を示す。図2に示すような、両端固定の平衡梁を考えると、溶鋼静圧に基づくバルジングによる内部矯正歪 ϵ は(1)、(2)式で与えられ、バルジング起因の内部割れは設備定数 B と操業因子 u/k^2E との積で整理できると考えられる。¹⁾

$$\epsilon = B (u / k^2 E) \dots (1)$$

$$B = S l^2 H / 2 Z \dots (2)$$

E : ヤング率

u : 鋳造速度

k : 凝固速度係数

S : 溶鋼密度

H : 湯面からの垂直距離

Z : 湯面からの冷却距離

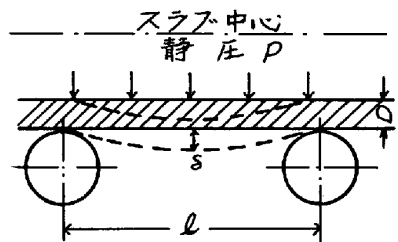


図2. ロール間バルジモード図

当所の連鋳機では、設備定数 B がピンチロール部で急激に増大していること、冷却帯がクレーター長さに比較して短いことが、高速時におけるロール間のバルジングを増大させる原因となっている。このような考えにもとづき、図3、4に示すごとく連鋳機の改造を行い、内部割れの生成位置の変化について調査した。すなわち、改造1は図3に示すごとく、矯正点のまわりにL面(上面)5本、F面(下面)6本、計11本の小径ロールを設置することにより、ロールピッチを1/2にし、設備定数 B を大巾に減少させ、バルジング起因による内部割れの生成を防止すると同時に、矯正歪の影響も明らかにすることを目的としている。改造2は冷却帯を延長することにより、鑄片の復熱を防止し、凝固シエルの強度を高め、バルジングを減少させることを目的としている。

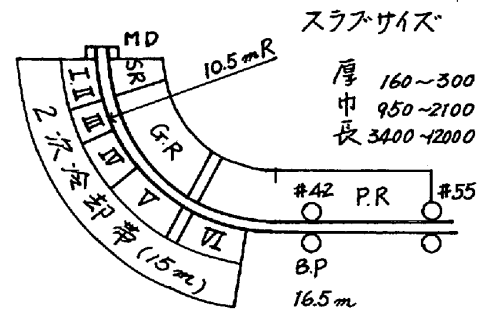


図1. 連続鋳造機概略

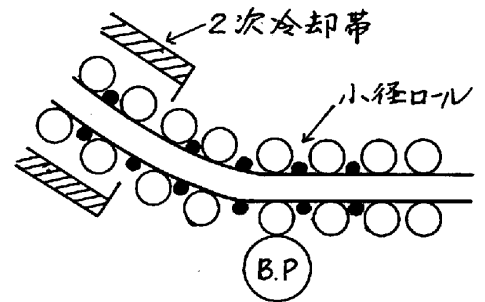


図3. 小径ロール設置位置(改造1)

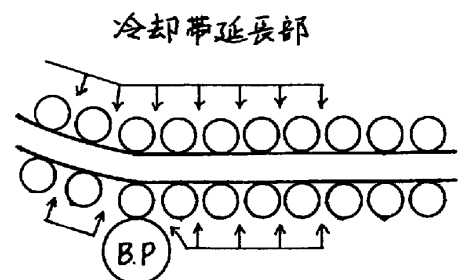


図4. 2次冷却帯延長位置(改造2)

3. 高速化に伴い生成する内部割れの実態

(1) 内部割れの実態

高速鑄造時に生成する内部割れについて、L断面、C断面、Z断面の割れ状況を写真1に示す。内部割れは引抜方向に直角で、鑄片巾方向にほぼ平行な波状となっており、柱状晶に沿って鑄片厚み方向に比較的垂直に伸びており、引抜方向にはほとんど長さを有していない。従って、割れの生成位置を検討する場合、L断面が最も適していると考え、以下の調査は全てL断面によって行った。

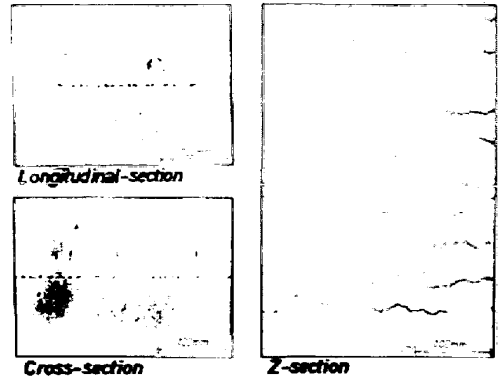


写真1 鑄片各断面における内部割れの実態

内部割れの生成状況は藤井ら²⁾も述べているように、凝固組織と密接な関係が認められる。写真2(a)はL、F面側共に鑄片中心まで柱状晶が伸びている場合で、両側共同様な内部割れの生成がみられる。一方、写真2(b)はF面側に等軸晶が存在する場合で、F面側の内部割れの発生は著しく少なくなっている。このことは等軸晶が柱状晶に比較して内部割れが生成しにくいことを示していると考えられる。

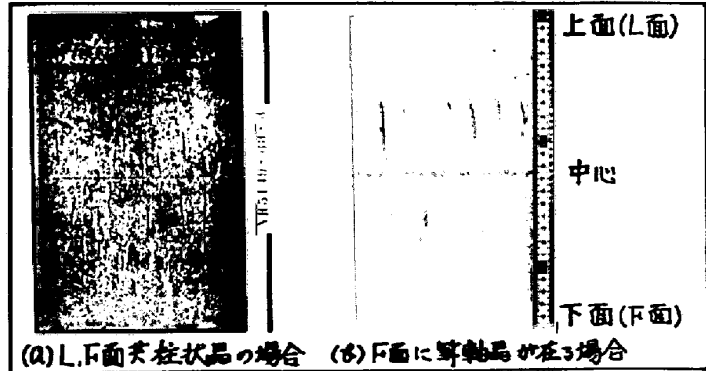


写真2 内部割れの発生状況と凝固組織

(2) 内部割れの生成位置と生成長さ

図5はアルミキルド鋼を鑄造した時に生成した内部割れについて、鑄片巾中央のL断面2mmにわたりその分布を調査した結果である。内部割れは鑄片表面から約80mm以上の位置に発生がみられ、ほぼ板厚中心まで分布している。割れ長さも数mmという微小な割れから、30mm近くもある大きな割れまで種々存在している。

内部割れは鑄片の変形歪がある限界値以上になると、固-液界面近傍に生成すると考えられる。^{1), 3)}しかし、割れの生成位置、長さは一定でなく広く分布しており、鑄片での割れ生成位置から、それが生成したロール位置を推定することは困難である。

図5 割れ生成位置と長さ

しかし、便宜上、以下に述べる方法を用いて割れ生成位置を推定した。すなわち、図6に示すごとく鑄片厚み方向を2mmピッチに分割し、その範囲内にある割れ個数を調査した。例えば、i ZONEにある割れのうち、aの割れはもっと浅い位置で発生し、bの割れはもっと深い位置で発生したものと考えられるが、i ZONEに存在するこれらの割れは、固-液界面が少なくとも、その近傍にあった時に生成したもの

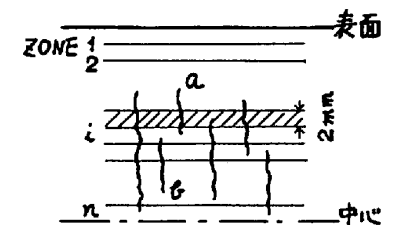
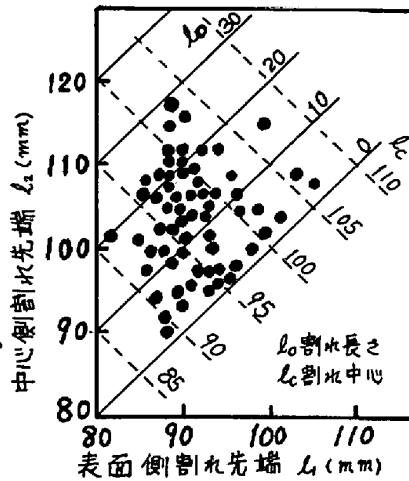


図6 割れ個数分布の調査方法

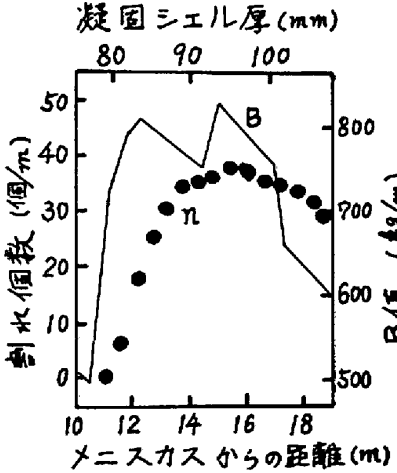


図7 割れ個数分布と生成位置

のと考えられる。このようにして求めた割れ分布と凝固シェル厚およびB値との関係を図7に示す。

(3) 内部割れと铸造速度変化

通常、連铸作業は同一チャージ内で速度変化を伴い、操業条件は一定でない。ところが、铸造速度を高速から低速へ急激に変化させた場合、クリープによる歪の増大があり、内部割れの生成拡大が予想される。浅野ら⁴⁾はクリープを考慮した式を提出しており興味もたれるが、ここでは速度変化した時の内部割れの調査結果についてのみ記述する。図8は連々铸した铸片全長を巾中央で分割し、L断面の内部割れについて調査した結果である。内部割れ生成個数はボトムから铸造速度の上昇と共に急激に増加し、一定操業条件下ではほぼ一定値となり、速度低下と共に急激に減少している。更に、图中破線で示すように、速度低下時メニスカスから約11m位置にあった铸片以降に内部割れは生成していないことがわかる。また、それ以前の铸片の割れ個数も変化していないことから、今回実施した程度の速度変化では、クリープによる歪の増加は少なく、内部割れへの影響は小さいものと考えられる。

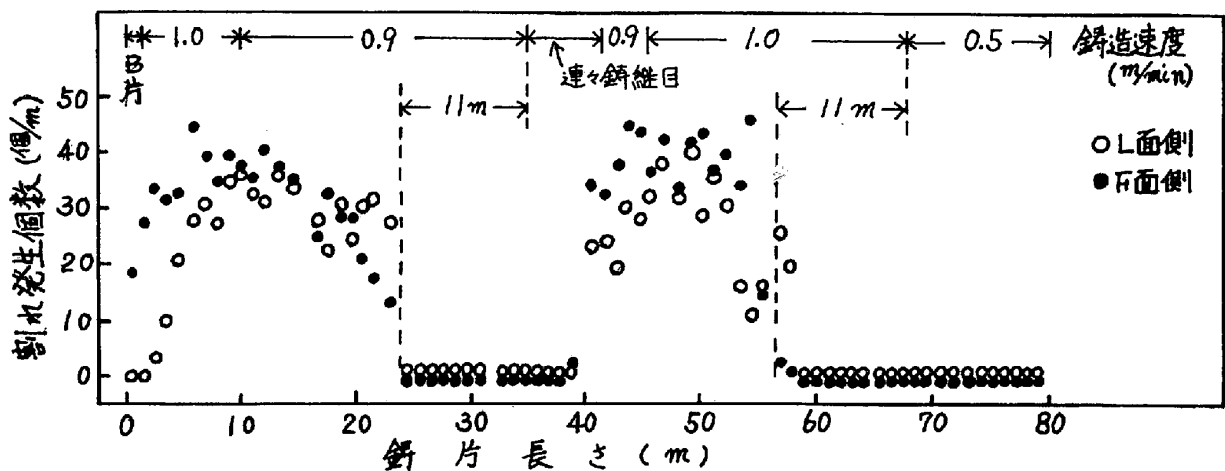


図8 铸造速度变化に伴う内部割れの発生個数分布 (L方向)

4. 内部割れにおよぼす2次冷却とロールピッチの影響

(1) 矯正点まわりに設置した小径ロールの効果

図2に示す位置に小径ロールを設置し、ロールピッチを1/2にした時の内部割れ生成位置、生成長さについて図9に示す。小径ロールを設置することにより、割れ生成個数は大巾に減少し、割れ長さも短くなっている。また小径ロール無しでは割れが铸片の浅い位置から深い位置まで広く分布しているの

に対し、小径ロール有りでは割れが深い位置でのみ生成している。図10に内部割れ生成個数分布の比較を示すが、L面、F面側共同様の傾向となっている。小径ロールによりバルジングが減少したと考えられる铸片の110mmより浅い位置の割れが大巾に減少しているのに対し、深い位置では差がない。これは深い位置の割れが小径ロール設置位置以降、すなわち、#44ロール以降で铸片

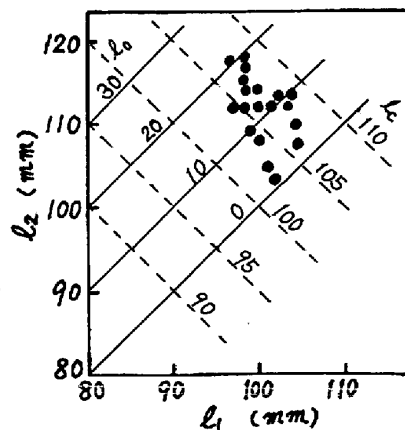


図9 割れ生成位置と長さ

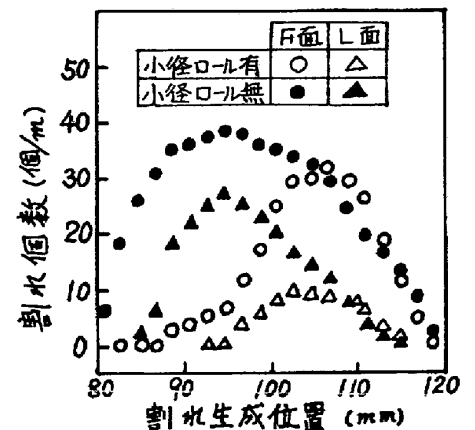


図10 小径ロールと割れ個数分布

の復熱により割れが生成していることを示している。

(2) 注水比の効果

注水比の増大と共に内部割れの生成分布がどのように変化するかを調査した結果を図11に示す。注水比1.0と少ない場合、内部割れは約70mm付近から生成開始し、鋳片の中心まで広く分布しているが、注水比を増加するに従い割れ個数は減少し、生成範囲も狭くなっている。注水比1.3では浅い部分の割れは完全に消滅し、110mm位置付近にピークをもつ深い割れのみになり、更に注水比を増加すると、内部割れの生成は完全に防止されている。

(3) 2次冷却帯延長の効果

図12は従来の2次冷却帯における冷却水量を同一(図中の注水比は延長部の水量は含まない)にし、延長部の冷却水の影響を調査した結果である。注水比1.2の場合、鋳片の深い位置での割れは完全に消滅しているが、80~90mm位置の割れは余り変化していない。これは深い位置の内部割れが、従来延長部で復熱によるバルジング増大で生成していたのが、延長部の冷却水によりシエル強度が増加し、バルジングが減少したためと考えられる。

また、従来の冷却帯長さの場合、注水比の増加と共に割れの生成位置は深い方向に推移するのに対し、冷却帯を延長した場合、深い位置の割れが大巾に減少している。これは鋳片の内部歪がロール位置で定まるB値と冷却条件で変化するEに大きく影響されることを示すものであり、矯正による歪の内部割れにおよぼす影響は小さいと考えられる。

5. まとめ

内部割れにおよぼす2次冷却の強化およびロールピッチの縮小の効果をまとめると図12に示すごとくなる。いずれもロール間バルジングを減少させる効果があり、それにより内部割れの生成分布は大巾に変化すること、更に

バルジング歪を内部割れ生成限界歪以下にすることで、内部割れは完全に防止可能なことを示した。

連鋳における内部割れは鋳片の変形歪が割れ限界歪以上になると生成し、その原因としてロール間バルジングによる歪、矯正歪、熱歪等があり、個々の歪は機種、操業条件、保守で大きく左右される。しかしながら、現状ではこれらの影響の定量的な結びつけはできず、今後の課題である。

(参考文献)

- 1) 井上, 小舞, 新美, 斉藤, 秋田: 鉄と鋼, 60(1974), A103
- 2) 藤井, 大橋, 織田, 広本: 鉄と鋼, 61(1975), S469
- 3) 広本, 大橋, 織田, 藤井: 鉄と鋼, 61(1975), S56
- 4) 浅野, 広本, 大橋, 松永: 鉄と鋼, 60(1974), A87

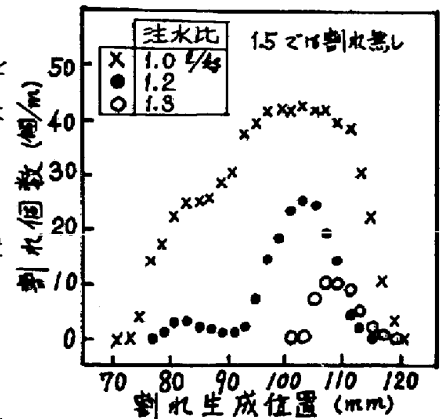


図11. 注水比と割れ個数分布

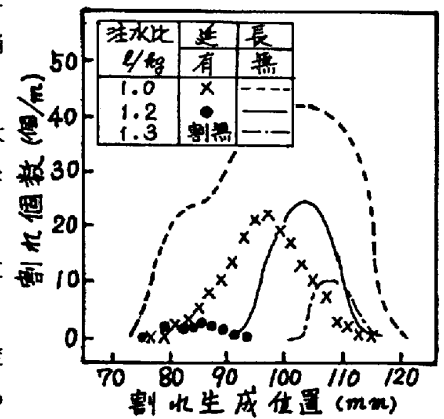


図12 冷却帯延長の影響

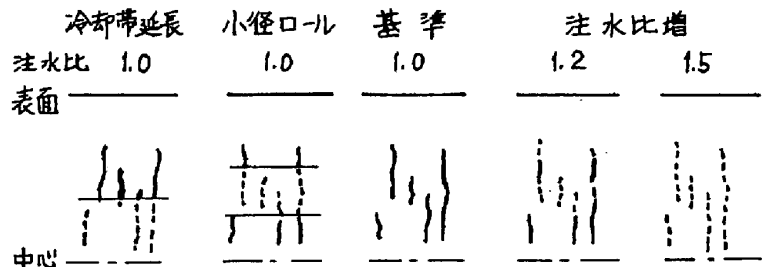


図13 内部割れ発生状況の比較