

高速 鑄造時の 内部 割れ 対策

八幡製鐵所 中川 一 大分製鐵所 島 孝次
中国協力本部 堀 珊吉 大分製鐵所 ○椿原 治
大分製鐵所 山内 信一 八幡製鐵所 打田 安成

1. 緒 言

大分製鐵所における連鑄設備は、立上り以来、全ての鋼種・鑄造サイズに対し、矯正点より先で凝固完了させる高速鑄造により、大型転炉と結びついた高能率操業を続けている。

高速化に際して、内部割れ¹⁾・中心割れ²⁾・中心偏析等の内質悪化や、縦割れ・短辺横割れ等の表面割れ疵の増加、ブレークアウトの増加などの諸問題に対処する必要があった。

本報告では、高速鑄造の最大の難関である内部割れを採り上げ、その防止対策を紹介するとともに、中心割れについても若干言及する。

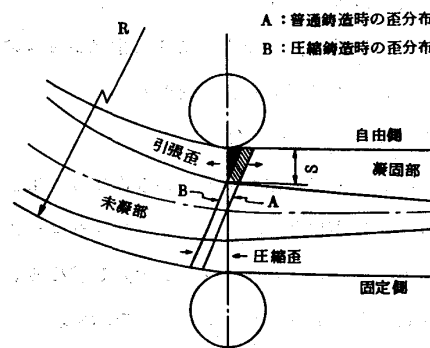
2. 内部割れの原因と発生状況

鑄造速度の上昇に伴い、バルジング歪が増大して内部割れ発生率が増すが、未凝固部が矯正点より先に出る場合には矯正歪による割れの発生が顕著になる³⁾。また、ロールの不整部でシェルに異常な応力が作用して割れにつながることもある。いずれにせよ、内部割れは、シェルに張力が働き、凝固界面を起点にして発生した割れ⁴⁾であり、後工程でコイルの破断や穴明きなどの欠陥につながる。

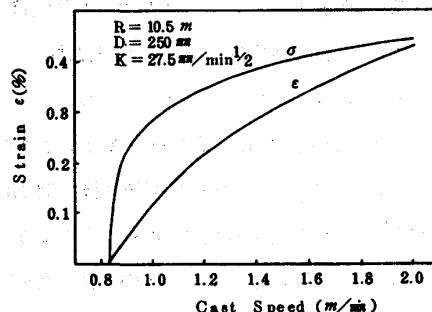
割れの機構は力学的であり、従って、割れ易さはシェルの機械的性質⁵⁾⁶⁾や2次冷却強度⁷⁾、ロールピッチ⁷⁾に依存する。実際、C・S・P・Alなどの溶質元素含有量により割れ発生限界歪が異なること⁵⁾⁸⁾、2次冷却の注水比が小さいときにはバルジング歪が大きくなり割れ易いこと⁹⁾、ロールピッチを短縮してバルジング歪を小さくして割れを軽減しうることなどはよく知られている。

3. 矯正歪と圧縮鑄造法

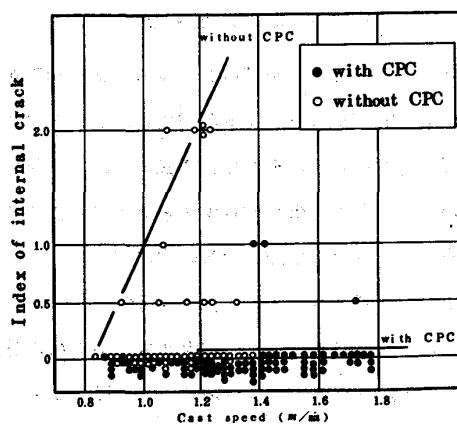
湾曲型連鑄機では、鋳片が円弧から水平に矯正される際、自由側のシェルには第1図に示すような引張歪が発生し、固液界面では(1)式に示すような歪量となる。



第1図 矯正点に発生する歪



第2図 矯正点での歪と応力



第3図 高速鑄造時の内部割れ

$$\epsilon_s = (D/2 - S) / R \quad \dots\dots (1)$$

D: 鋳片厚み S: シェル厚み R: 円弧半径

凝固式(2)を用いてシェル厚みを算出し、(1)式に代入すれば、第2図に示すように、鑄造速度とともに矯正歪量は増大することが分る。

$$S = k \sqrt{L/V_c} \quad \dots\dots (2)$$

k: 凝固係数, V_c : 鑄造速度, L: メニスカスから矯正点までの距離

第2図における引張応力は、破断に近い変形現象を扱う際によく用いられる塑性近似の応力・歪の関係式(3)により算出したものである。

$$\sigma = K \epsilon^m \quad \dots\dots (3)$$

第3図に示すように、内部割れは未凝固部が矯正点より先に伸びると始め、歪が0.1%を上回ると割れの程度も許容限界を越す。

圧縮鑄造法は割れの起点である自由側シェルの固液界面において歪が0又は圧縮歪となるように圧縮力をかけようというものである。すなわち、

$$\epsilon_s \leq 0 \quad \dots\dots (4)$$

となるような必要圧縮力を(3)式から算出し、矯正点での力の平衡式(5)を解いて、湾曲部ピンチロールの引抜力と水平部ピンチロールの制動力を求める。第4図に矯正点で平衡している主な力を示す。

$$C_0 = P_B + P_S - R_B = T_M + B_r + R_H - C_L \quad \dots\dots (5)$$

C_0 : 必要圧縮力, P_B : 引抜力, C_L : 鉄静圧

P_S : 湾曲部鋳片自重, T_M : 矯正抵抗

$R_B + R_H$: ライン抵抗, B_r : 制動力

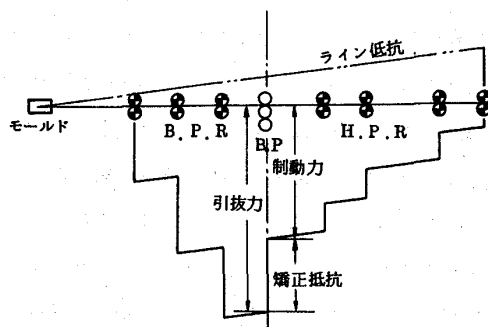
必要圧縮力は鑄造速度の変動に伴って変わるものであり、引抜力と制動力は時々刻々計算機で制御される。

圧縮鑄造により内部割れは、第3図に示すように、鑄造速度1.8 m/分でも皆無に近い。なお、圧縮鑄造は、第1図Bに示すように、凝固界面付近の矯正歪を解消するばかりでなく、自由側表面での歪も軽減するために、矯正曲げに起因する横割れ・ひび割れ・エッジ割れ等の表面割れ疵の減少にも効果が認められる。

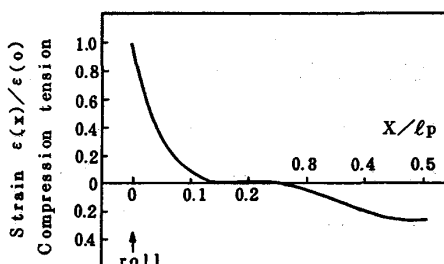
4. バルジング歪とロールピッチ

鉄静圧によってロール間のシェルに一樣な荷重がかかり、シェル各部にモーメントが発生し、これとバルジング歪応力とが釣り合う。そこで、(3)式を用いて、凝固界面での鑄造方向の歪分布を推定すると第5図のようになり、引張歪はロール直下で最も大きい。^{9) 10)}

大分製鐵所の高速マシンは、第6図のようにロールピッチを短縮し、バルジングに起因する内部割れの防止策としている。ロール直下のバルジング歪量がロールピッチの短縮によって減少したことを第7図は示している。



第4図 圧縮鑄造時の矯正点における主な力の平衡



第5図 バルジングによる凝固界面での鑄造方向歪分布

圧縮鋳造法は、矯正点に集中的な圧縮力を与えるほかに、駆動ロールの分散配置によって、矯正点前後の駆動ロール領域にわたってシェル内に圧縮応力をもたらす。第4図からその概要を推察できる。従って、圧縮鋳造により駆動ロール領域のバルジング歪を軽減することができ、ロールピッチ短縮と同等の効果を得る。第7図に、圧縮鋳造時のバルジング歪の計算側を示す。但し、矯正点は除外してある。

5. ロール不整テスト

ロール不整は、シェル内に異常な応力を生ぜしめ、内部割れを惹き起こす。また、不整ロールにクレータ先端が差しかかると、溶鋼封じ込めが起こって中心割れが発生する。

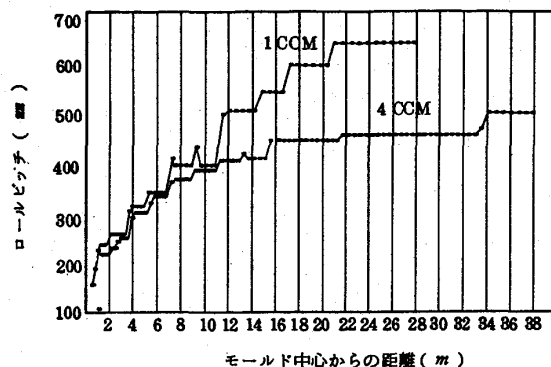
ロール不整による内部割れ・中心割れの発生を防止するため、いくつかのタイプのロール不整を作り、割れの再現テストを実施し、ロール・アライメント基準の設定根拠とした。

テスト条件とその結果を第1表に示す。

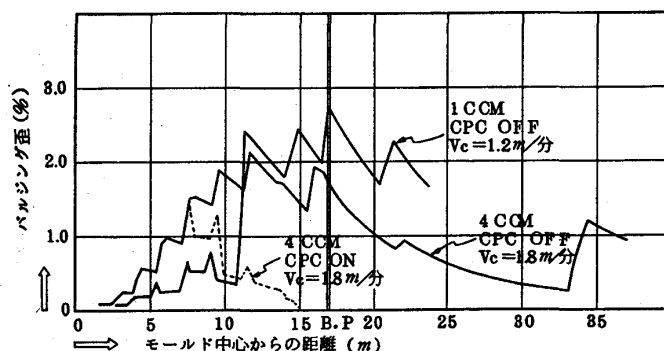
内部割れについては、圧縮鋳造によって、ロール不整の悪影響が緩和され、湾曲部・水平部で2mmの不整が許容される。しかし、矯正点近傍の不整は1mmも許されない。

以上の結果から、割れ限界歪は約1.5%と判定し、ミスアライメント許容基準は湾曲部で1mm、水平部で2mmとしている。

中心割れについては、バルジング的不整及びロール偏心が悪影響を及ぼす。



第6図 1CCMと4CCMのロールピッチ比較



第7図 バルジング歪の推定

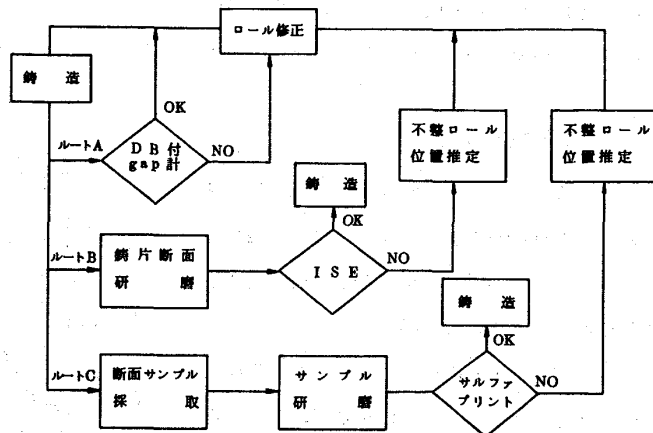
第1表 ロール不整テスト

内 部 割 れ				中 心 割 れ	
湾曲部・矯正点近傍、水平部のロールに不整を与え、鋳造速度 1.3 ~ 1.8 m/分の高速で鋳造する。				水平部に不整ロールを設け、その位置でクレータ厚みが 8 ~ 6 mm となるような鋳造速度を選ぶ。	
ロール不整タイプ	位置	CPC/ON	CPC/OFF	ロール不整タイプ	テスト結果
A	湾曲部	いずれのタイプも $d = 2 \text{ mm}$ ($\epsilon = 1.7 \sim 2.1 \%$) まで発生せず	Dタイプの $d = 1 \text{ mm}$ ($\epsilon = 1.8 \%$) で発生	E	$d = 1.2 \text{ mm}$ で発生
	矯正点近傍	いずれのタイプも $d = 1 \text{ mm}$ で発生	/	F	$d = 1.2 \text{ mm}$ で殆んどなし
B	水 平 部	いずれのタイプも $d = 2 \text{ mm}$ ($\epsilon = 0.4 \sim 0.6 \%$) まで発生せず		G	$d = 5 \text{ mm}$ で殆んどなし
C			A, Dタイプの $d = 2 \text{ mm}$ ($\epsilon = 1.7 \%$) で発生	H	$d = 4 \text{ mm}$ で定期的に発生
D			Aタイプの $d = 1.2 \text{ mm}$ ($\epsilon = 1.2 \%$) で発生せず		

6. ロール・アライメント管理体制

高速鋳造時には、ロール不整が内部割れや中心割れに一段と影響を強めるが、現在の技術水準では、2週間に1度のアライメント調整が必要であり、また、不時のミスアライメントに対する備えに万全を期さねばならない。

高速鋳造により生産速度が増すにつれ、品質不良発生時の迅速なフィードバックが必



第8図 ロール・アライメント管理サイクル

要となり、第8図に示すように、内部割れ防止のためのマシン管理サイクルの短周期化が進められた。

低・中速時代にはCのルートで判定に2日を要していたが、高速化に際し、迅速内質評価法(I S E)の考案により、6時間程度でフィードバック可能となった。更に、最近では、ダミーバー・ヘッドに装着した無線式のロール間隔測定器のデータを即刻計算機処理し、不整ロールが発見された場合には、その影響を回避する操作を行ない、鋳造後にはロール修正するという完璧なロール・アライメント管理体制が実用化されつつある。

7. 結 果

高速鋳造時に発生する内部割れを防止するために、力学的な考察にもとづいて圧縮鋳造法を発明し、実操業に適用した結果、著しい効果を得た。それは、矯正歪に起因する内部割れを克服するにとどまらず、バルジング歪の軽減、ロール不整による歪の軽減にも奏効するほか、矯正点で発生或いは助長される表面割れ疵を減少させる効果も認められている。

バルジング歪に起因する内部割れは、ロールピッチの短縮により、高速時においてもバルジング歪を2.0%以下にとどめ、かつ、圧縮鋳造により1.5%以下に軽減することで解決されている。

ロール・アライメントは現在の技術的段階では、かなり短期間のうちに狂いが生じることは不可避である。毎キャストにアライメント・チェックを実施し、管理を強化することにより、内部割れや中心割れの発生を未然防止している。

〔参考文献〕

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| 1) 第65回製鋼部会 S 51.11 | 6) 鉄と鋼 " 77 S 152 |
| 2) 鉄と鋼 " 77 S 142~144 | 7) " " 74 A 108 |
| 3) " " 75 S 58 | 8) " 77 S 602 |
| 4) " " 75 S 56 | 9) " 77 S 139 |
| 5) " " 75 S 469 | 10) " 77 S 618 |