

討 9

連 鑄 々 片 の 内 部 割 れ の 発 生 原 因 と 防 止 対 策

住友金属工業(株) 中央技術研究所 杉谷泰夫 ○中村正宣 河嶋寿一 金沢 敬
 和歌山製鉄所 友野 宏
 鹿島製鉄所 橋尾守規

1. 緒 言

連鑄々片の内部割れの発生原因の一つとして、湾曲型連鑄機における鑄片の未凝固状態での矯正が考えられており、鹿島製鉄所の低機高多点矯正型連鑄機（SH-CCM）の開発に当たっては、湾曲半径および矯正方法をいかにすべきかが大きな問題であった。また、内部割れは、高速鑄造時に発生しやすく、連鑄の生産性向上の点からも、その防止対策の確立が重要である。

本報告では、凝固途中の鑄片の曲げ試験を行い、割れ発生条件を実験的に把握するとともに、実機において発生する内部歪を計算によって求め、内部割れ発生状況との比較検討を試みる。そして、内部割れ発生原因を推定するとともに、その防止対策について考えてみた。

2. 内部割れ発生条件

凝固界面に引張応力を作用させて伸びを与えた場合に、割れが発生し始める限界歪については、これまでにいくつかの研究例があるが、実験手法として歪の算出に誤差が入りやすく、結果は0.2～3%と大きく異なっている。

ここでは、実験誤差を極力小さくできる方法として、凝固途中の鑄片を拘束しながら曲げる試験¹⁾を行い、凝固界面に作用する歪、歪速度と割れ発生との関係を調査した。

図1に、曲げ試験の概念図を示す。右側に示す金型は、上、中、下段からなる組合わせ金型（内寸250×300×1800mm、高さは、それぞれ、600、800、400mm）であり、上段と下段金型は支持枠で一体化されている。この支持枠には、中段金型の左右中央1/2高さに相当する位置に回転軸がある。中段金型は2つ割りで、油圧シリンダーによって左右に引き離すことができる。上段金型には鑄片曲げ用油圧シリンダーがついており、中段金型を左右に引き離した状態で上段金型を回転軸のまわりに回転させることができる。下段金型は、鑄片曲げ時に動かないように、押さえ板によって枠組に固定されている。

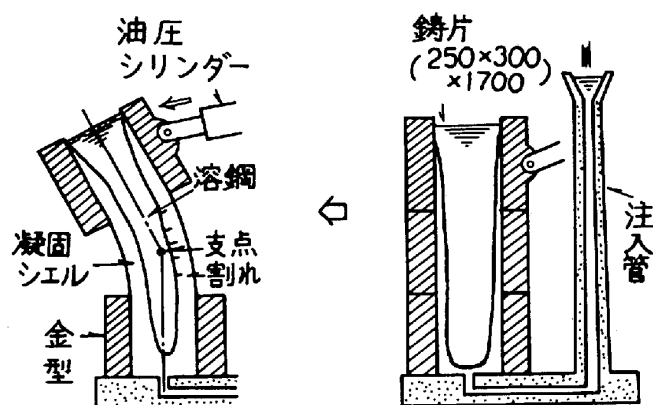


図1. 未凝固曲げ試験（概念図）

なお、上段金型と下段金型には外側から30φのピンを4本ずつ差し込むことができるようになっており、ピンの先端に被せたキャップを凝固シェルに鑄ぐるむことによって鑄片と鑄型内面のスリップを抑えることができる。

実験の手順は次の通りである。まず、上記三段組み金型に溶鋼約1tを下注ぎで鑄込む。その後、中段金型を引き抜いて鑄片の一部を裸にし、シェル厚さが約60mmになった時、拘束しながら油圧シリンダーによって支点のまわりに押し曲げる。歪量および歪速度は、押し曲げ角度と曲げ速度によって調整

した。凝固界面の歪量は、FeS添加法によって確認した凝固界面位置につき、先の押し曲げ角度から求めた。

図2に、代表的鋼種についての試験結果を示す。内部割れ発生の有無は、得られた鑄片の縦断面Sプリントから判定した。

40, 50 kg/mm² 級鋼 (0.009~0.019% S) については、試験条件の範囲内では割れ発生がなく、割れ発生限界歪は2%以上と推定された。また、S45Cについては、1.0~1.5%以上の歪量で割れが発生し、従来の報告と同様、歪速度の大きい方が限界歪は小さいことがわかった。

3. 発生歪の計算式

連鑄々片の凝固界面に生じる引張歪の発生原因として、(i) 未凝固矯正、(ii) 溶鋼静圧によるロール間でのバルジング、(iii) ピンチ・ロールの圧下、(iv) ロールの不整 (ロール・キャビティおよび軌道の不整)、(v) 熱応力 (シェルの凝固界面と表面との温度差、および、復熱によって発生)、(vi) 鑄片の引き抜き、が考えられる。

そこで、スラブの巾中央部での鑄込方向断面においては、巾方向の変位が一樣と考えられることから、2次元一般化平面歪問題として、3角形要素を用いた熱弾塑性応力解析²⁾を行い、それぞれの歪の値を求めた。シェル内面から表面にかけての温度は直線的に変化するとした。凝固直後の鋼の物性値 (ヤング率、加工硬化係数、降伏応力) については不明な点も多いが、バルジング量については測定値とよい一致がみられたことから、大略の値は得られたものと考えられる。

その結果、未凝固矯正歪、バルジング歪、ロール圧下歪については、設備諸元および鑄込条件との関連が強く、それぞれ、表1の式で計算できることがわかった。

表1から明らかなように、バルジング歪およびロール圧下歪に対しては、凝固シェル厚さdおよびロール間隔lが大きな影響を及ぼす。

ところで、ロールの不整は現象的にはロール圧下と同じと考えられるので、発生する歪については、表1のロール圧下歪の計算式をそのまま用いることができる。この式から、ロール間隔が狭くなると発生歪は大きくなる、つまり、ロールの不整の影響が大きくなることがわかる。

なお、復熱等に起因する熱応力による歪、および、鑄片の引抜きによる歪は、別の検討から、通常0.1%以下で、小さいことがわかった。

4. 実機において発生する内部歪の値と、割れ発生状況との対応

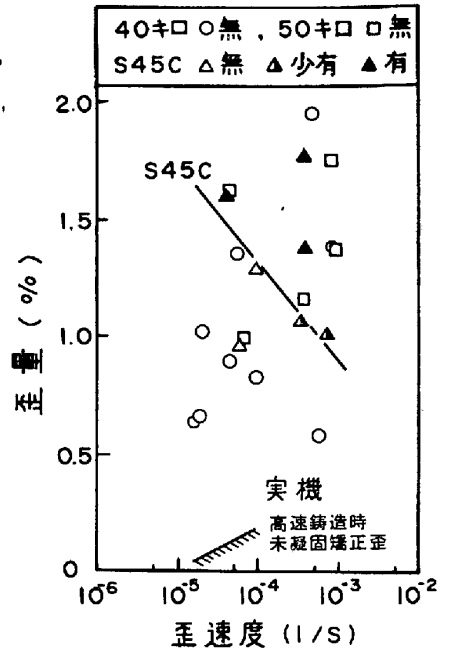


図2. 内部割れ発生条件

表1. 各種歪の計算式

未凝固矯正歪	バルジング歪	ロール圧下歪
$\epsilon_{ST} = \left(\frac{D}{2} - d \right) \times \left(\frac{1}{R_n - \frac{D}{2}} - \frac{1}{R_{n+1} - \frac{D}{2}} \right) \times 100$	$\epsilon_B = \frac{P}{3800} \frac{l^3}{d^3} \times 100$	$\epsilon_P = 1.15 \times \frac{3d}{l^2} \delta \times 100$

次に、2つのスラブ連铸機について、表1の計算式により、各位置での歪量を求めてみた。結果を図3、4に示す。いずれも、熱応力および引拔力による歪はそれぞれ0.1%とした。

図3は、鹿島製鉄所のSH-CCMにおいて300mm厚スラブを0.7m/minで引き抜いた時発生する歪の計算値を示している。SH-CCMの場合、湾曲半径が5.8mと小さいため、多点矯正でもなお矯正歪が約0.2%とかなり大きい。しかし、低機高のため、バルジング歪は小さく、全歪として最大0.63%程度と決して大きくない。

図4は、和歌山製鉄所のNo.2スラブCCMにおいて200mm厚スラブを1.2m/minで引き抜いた時発生する歪の計算値を示している。この場合、バルジング歪が比較的大きく、矯正歪は小さい。ロール圧下歪を考えなければ、全歪として最大0.7%程度になる。

以上の解析から明らかなように、40、50kg/mm²級鋼を対象とした場合、強いロール圧下等がなければ、全歪は十分割れ発生限界内にあり、内部割れの発生はないことになる。

一方、割れは多くの場合発生しないが、時にみられることもあり、その場合の内部割れ発生状況について調べてみた。

図5は、湾曲半径10mのスラブCCMにおいて、1.2m/minで铸造中の铸片を急停止させ、そのまま凝固させてスラブの割れ発生状況を調べた結果である。実験Iにみるように、割れはピンチ・ロール帯に入ると発生し始める。

従って、少なくとも矯正歪が原因でないことは明らかで、上述の歪解析を合わせ考えると、これらの割れは、バルジングに加えて強いロール圧下や不整が起きたことによると考えざるを得ない。

実際、ピンチ・ロール帯の1seg.にディスタンス・ピースを挿入すると、図5の実験IIに示すように、割れ発生開始位置は2seg.にずれる。

5. 内部割れ防止の観点からみた、マシン・プロフィールとロール・レイアウトの考え方

内部割れ防止の観点からみて、3で示した各種原因によって発生する歪の総和が限界値を越えないように、マシン・プロフィールやロール・レイアウトを考える必要がある。

さて、熱応力や引拔力による歪は、铸片の全長にわたって生じるが、それぞれ、0.1%を越えることはないと思われる。ロール圧下については、ディスタンス・ピースを可能な限り挿入して、抑えること

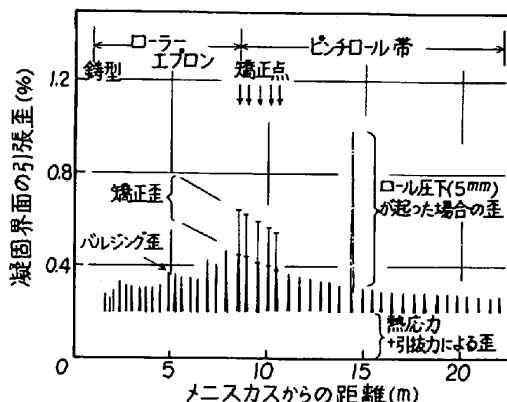


図3. 鹿島・SH-CCM (300mm厚スラブ, 0.7m/min)の歪発生状況

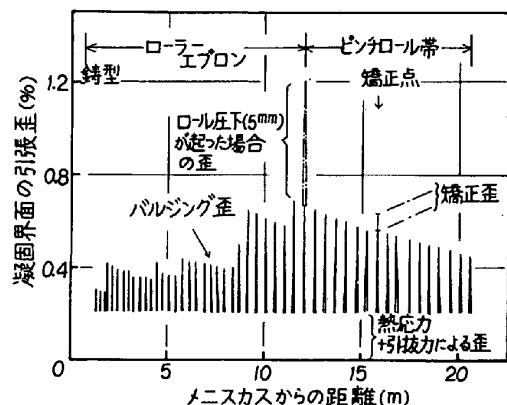


図4. 和歌山・No.2 CCM (200mm厚スラブ, 1.2m/min)の歪発生状況

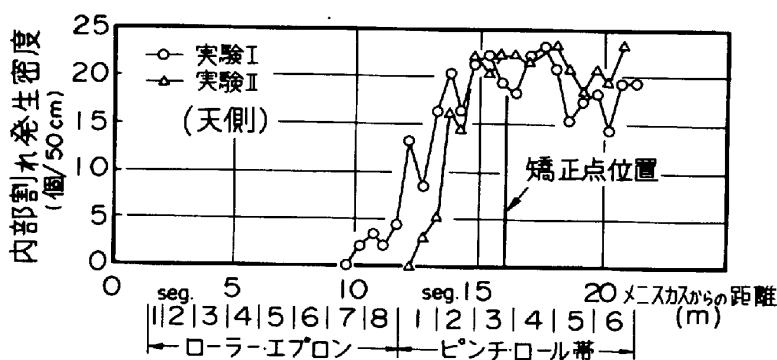


図5. 内部割れ発生状況

にする。ロールの不整による歪は偶発的なもので、今仮りに鑄片の全長にわたって0.6%程度(不整量にして数mm, たかだか5mm程度)生じると考える。ここに, 40, 50kg/mm²級鋼の場合の限界歪を2%程度とすると, この限界歪からこれらの歪量を差し引いて得られる約1.2%を, 未凝固矯正歪とバルジング歪を加えたものが越えないように, マシン・プロフィールとロール・レイアウトを決めてやればよい。

以下に, 1例として, 220mm厚スラブを2.0m/minで鑄込んだ場合について, マシン・プロフィールとロール・レイアウトを求めてみた。

図6は, 1点矯正でマシン湾曲半径を5~15mにとった時の未凝固矯正歪を, 表1の計算式で求めてプロットしたものである。

図6より, マシン湾曲半径を10mより小さくすれば, 急速に未凝固矯正歪が増加するのがわかる。

矯正点におけるロール間隔は, 図6に ϵ_B で示した量をバルジング歪が越えないように決めてやる必要がある。

図7は, 表1のバルジング歪の計算式を用いて, 逆にロール間隔を求めてみたものである。

図7からわかるように, メニスカスからの距離が遠くなるにつれて, ロール間隔を広くとることができる。ただし, 矯正点においては矯正歪が発生するのでその分バルジング歪を抑える必要があり, ロール間隔は狭くなる。

また, 湾曲半径が小さくなるにつれて全体にロール間隔を広くとることができる。つまり, 内部割れの観点からは, 湾曲半径の小さな連鑄機はバルジングが起き難く, 矯正点を除けば, 一般にロール間隔を広くとることができ, 設備設計上有利と考えられる。

6. 結 言

凝固途中の鑄片の曲げ試験, さらに, 鑄込過程で凝固界面に発生する歪の解析と内部割れ発生状況の比較検討から, 実機における内部割れの発生原因をほぼ把握することができた。そして, 防止対策として, 矯正よりむしろバルジングやロール圧下等による鑄片の変形を抑えることが重要であることがわかった。

最後に, マシン・プロフィールとロール・レイアウトについて, 内部割れ防止の観点からみた一つの考え方を述べた。

文 献

- 1) 杉谷泰夫, 中村正宣, 河嶋寿一: 学振19委-No.10259(昭和55年5月)
- 2) 加藤一郎, 森田喜保, 河嶋寿一, 中村正宣: 鉄と鋼, 66(1980)4, S192

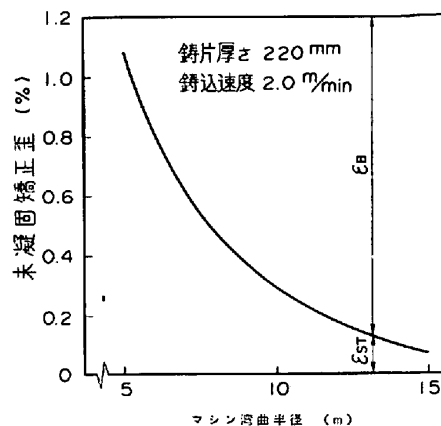


図6. マシン湾曲半径と未凝固矯正歪の関係(1点矯正)

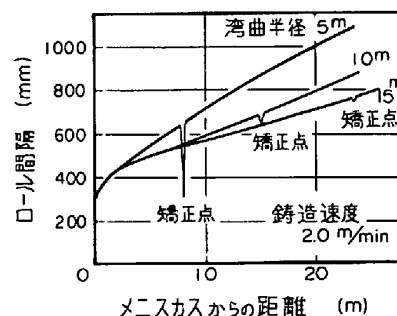


図7. 凝固界面の歪を1.2%以下とするためのロール間隔