

討 8 ウォーキングバー・カービリーニア型連鋳機による高速鋳造について

神戸製鋼所 加古川製鉄所 喜多村実 副島利行 小山伸二 ○ 二宮喜和
中央研究所 森 隆資

1. 緒言

当社加古川製鉄所の№1ウォーキングバー・カービリーニア型（以下W.B.-C.L.型）連鋳機は2次冷却帯をスプレー冷却しない、いわゆる間接冷却および空冷方式の連鋳機として昭和48年稼動開始した。

稼動当初、鋳造速度は0.5~0.8m/minであったが、その後高速鋳造を行うにしたがってW.B.以降の復熱に伴う内部欠陥が発生した。そこで、まずロール帯上部（9m）へスプレーを採用、ついでW.B.内へのスプレー設置を行い、現在では1.3m/minの通常操作を実施するに至っている。そして、さらに機長28mを有効に利用して、1.5m/min以上の鋳造が可能ないようにロールスプレー帯を延長（9m→15m）し、冷却強化をするべく改造を進めている。

今回、W.B.-C.L.型連鋳機の高速鋳造が可能に至るまでの経過と高速時に問題となる内部われの発生機構とその対策について報告する。

2. 現在までの経過の概要

W.B.-C.L.型連鋳機の特長は2次冷却帯上部でW.B.が凝固殻を面接触により支えるため、バルジングを生じさせることなく、緩冷却を行うことが可能である。したがって、鋳型直下での熱応力により生ずる表面縦われが少ないので、S55Cのようなわれ感受性の高い鋼種の鋳造も容易である。そのうえ、本連鋳機は、低歪速度で残溶湯のある未凝固鋳片の矯正を行うことができることである。しかしながら、高速鋳造化を推進するにあたり、2つの重要な問題のあることが判明した。その1つは鋳型内で発生する鋳片コーナー部のコーナー縦われであり、いま1つはW.B.直下のロール帯で発生する内部われである。前者については、当連鋳機の鋳型はロングモールド（長さ

1.2m）を採用しており、抜熱量が多く、鋳片の凝固殻の成長を促進させるのに有効である。その反面、鋳片コーナー部に凝固遅れが生じ易い欠点がある。そこで、このコーナー部の凝固遅れを防止し、鋳型内で鋳片の凝固を均一に進行させるために、鋳型下部コーナー部にスリット状の切欠きを造り、この切欠きから鋳片コーナー部を直接スプレーで冷却できるオープンコーナー鋳型を開発した（図1および図2）。これにより、鋳型内鋳片のコーナー部凝固遅れ現象は解決され、高速鋳造時においても、作業上のトラブルはなくなった。後者については、高速鋳造時にW.B.下のロール帯での冷却能が不足するために、W.B.通過後のロール帯で鋳片凝固殻に100~200℃の復熱現象が認められ、そのため、鋳片凝固殻内部に熱応力の発生や、バルジング量の増大などが顕著になり、内部われが発生し易いことが判明した。

そこで、ロール帯での鋳片の復熱による熱応力およびバルジングを防止するためにロール帯上部にスプレー冷却を採用した。この結果、従来鋳造速度0.9m/minで内部われが発生し

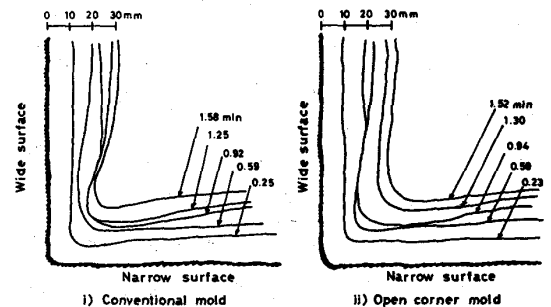


図1. 鋳片コーナー部における鋳型内凝固殻厚さの比較（S添加）

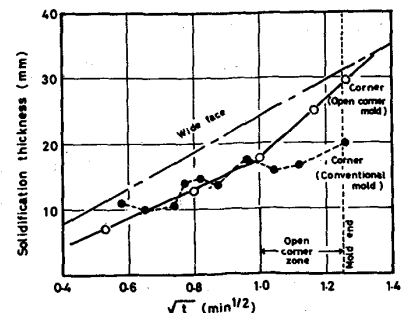


図2. 鋳型内凝固殻厚さの変化（S添加）

ていたのに対し、 1.1 m/min まで内部われが防止できた。この時の比水量は 0.4 l/kg で、冷却パターンはW.B.での緩冷却から急激なスプレー冷却を行うと表面縦われの発生を生じるので、徐々に冷却を強めて行く逆カスケード方式とした。

しかしながら、本冷却方式には限界があり、铸造速度 1.2 m/min 以上で内部われを生じることが明らかになった。そこでW.B.にも直接冷却機能をもたせた。この結果比水量 1.0 l/kg で铸造速度 1.3 m/min でも内部われの無い鋳片を得ることが可能となった。

以下に当社の高速铸造における内部われ調査結果と対策について述べる。

3. 内部われにおよぼすバルジングの影響

3.1 铸造条件による内部われ発生状況

当社鋳片の内部われの特徴は鋳片上面側、下面側双方共に発生している(写真1)。この内部われは図3に示すごとく铸造速度が大きくなるに従い鋳片内部われを生じる限界比水量も大きくなる。铸造速度 0.8 m/min では限界比水量 0 l/kg (W.B.による間接冷却のみ)に対し、 1.1 m/min で 0.4 l/kg 、 1.3 m/min では 0.7 l/kg である。 1.5 m/min での限界比水量は図3より 1.2 l/kg 以上と推定される。

3.2 内部われにおよぼすバルジングの影響

内部われ発生原因として未凝固鋳片矯正時やバルジングによる歪、歪速度、さらに復熱による熱応力等の影響が論じられている^{3)~9)}。未凝固鋳片矯正による歪、歪速度の影響は、当社ではカービリニア多点矯正法を採用しているため、内部われを説明するにはあまりにも低いオーダーである。事実、W.B.で間接冷却を行った場合には、鋳片上面側よりもむしろ下面側に内部われが多発する傾向の強いことからこの影響は無視でき、他の要因と考えられる。

このことより内部われ発生原因としてバルジングと復熱による熱応力が有力視される。スプレー冷却採用による内部われ防止の効果はW.B.からロール帯への移行時に発生する復熱を防止することによる熱応力の減少と鋳片凝固殻の強度向上によるバルジング量の減少がともに影響しているものと考えられる。その両者の内部われにおよぼす寄与率を個々に取り出すことは難しいが、高速铸造時の鋳片から求めた内部われ発生推定位置と各位置での理論的バルジング量の計算結果を比較すれば、われ発生位置は最大バルジング発生位置近傍にあることがわかる。これらから、バルジングが内部われに大きく影響することを確認した。

以下に 40 kg クラスAlキルド鋼におけるバルジングの内部われへの影響について調査した結果を述べる。

1) バルジングの計算

当社では有限要素弾塑性応力計算(Marc-Stress弾塑性応力解析法)を用いバルジング計算を行った。この解析法によれば、バルジングによる鋳片の変形状態と凝固殻内の応力状態を推定することができる。図4(a)にそのバルジングモデルを示す。また凝固殻内は図4(b)で示すように各要素に分割し、その温度に対応した機

写真1 内部われ発生状況(W.B.間接冷却, ロール帯空冷, 1.1 m/min)

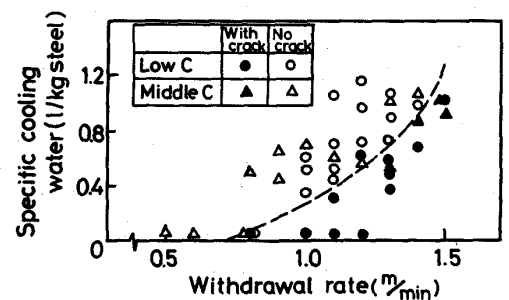
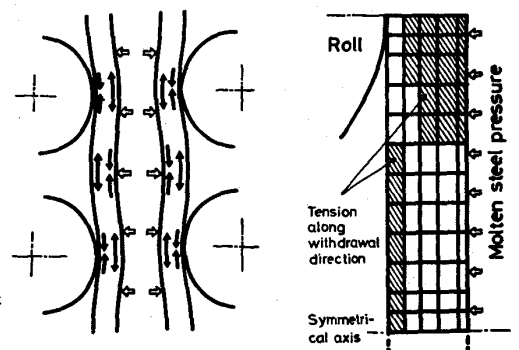


図3. 铸造条件と内部われの関係



(a) バルジングの概略図 (b) 有限要素解析のための要素分割

図4. バルジングモデル

機械的性質を与えた。温度分布は複合鋸打ち込み実験結果をもとに差分伝熱計算で決定し、機械的性質は当社における高温引張り試験のデータを用いた。各ロール間で起きるバルジング量の計算結果の一例を図5に示す。テスト№1は鋳造速度 1.2 m/min で内部われのない場合である。テスト№2は 1.5 m/min で内部われ発生のある場合の計算結果でありテスト№3は改造計画で予定している 1.5 m/min 、比水量 1.69 l/kg の計算結果である。いずれの場合もバルジング量はW.B.通過後、ロールピッチの変わった直後に極大を示し、メニスカスから 8.9 m の位置で最大バルジング量となり、その後暫時減少を示している。このバルジング量の計算にはクリープ、ロールのミスアライメント等の影響は考慮していないので、実機での内部われ発生を示す限界値は断定できないが、今後バルジング量の実測を行い内部われ発生の限界値を確認していきたい。

2) バルジング量と内部われ発生位置の対応

図5に鋳造条件別にW.B.以降のバルジング量の推移を示したが、そのうち内部われ発生の認められたテスト№2について鋳造方向でのわれ発生位置と内部われ密度との関係を図6に示す。この内部われ密度はSプリントから求めたが、メニスカスからの各距離における鋳片内固相線温度近傍において観察される内部われの密度である。この図より、バルジング量の大きい位置とわれ密度の高い位置とは対応しているのがわかる。また固相線温度位置は複合鋸打ち込み実験と伝熱計算より決定した。図5、図6からテスト№1では内部われの発生はなく、テスト№2では内部われが認められ、かつ最大バルジング位置でその発生量も最大となる。このことから、内部われ発生にバルジングが関与し、またバルジング量がある一定レベル以上でわれ発生を引き起こすことが考えられる。

現段階で通常操作の 1.3 m/min では内部われは発生しておらずこの結果とこれ迄の冷却条件と内部われの調査とから、 1.5 m/min で内部われを防止する冷却条件を計算により推定した。(図5、テスト№3) この時のバルジング量はわれ発生のないテスト№1と大差ない値であり、内部われを防止できると考えられる。また、図7にメニスカスより 8.9 m の位置におけるバルジング歪の計算結果をテスト№1～№3の場合について示す。どの場合も、凝固殻内の固相線温度近傍位置に作用する応力はロール位置では引張り応力となり、内部われが発生しやすくなるが、テスト№3の歪は内部われ発生を伴う№2と比較して小さく、内部われ発生のない№1とはほとんど同程度の歪であることがわかる。

4. 高速鋳造を行うための2次冷却の考え方

以上述べてきたように高速鋳造時における内部われの発生原因は主としてバルジングによるものと考えられる。

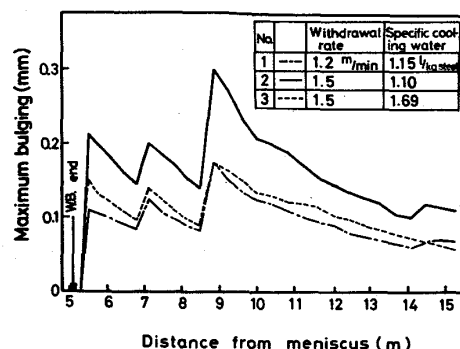


図5. W.B.出口からのバルジング量の推移

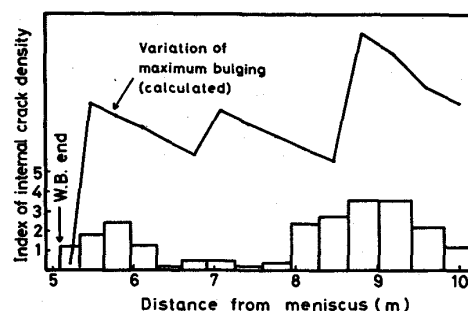


図6. ロール帯でのバルジング量と内部われ発生傾向

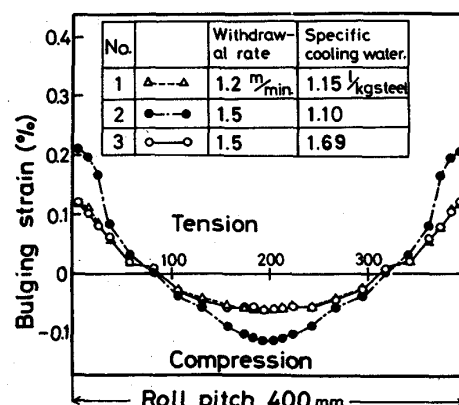


図7. ロール間バルジング歪の計算結果

稼働当初の W. B. - C. L. 型連鑄機の W. B. による間接冷却のみでは高速鑄造時の復熱に起因する鑄片の内部われは防止できない。すなわち W. B. 内では面接触により完全にバルジングを防止しうるが、最大バルジング発生位置が W. B. 直下から数 m 下方にあり、その位置では空冷帯であったためである。したがって内部われを防止するには、この位置での凝固殻を厚くかつ強固にし、内部われ発生限界歪以下にバルジング歪を減少させることが必要である。そのためにはロール帯でのスプレー冷却が必要であり、更に W. B. にスプレーを内蔵し、冷却を強化することがより有効であることがわかった。

これらの調査結果から、機長 28 m を有効に利用し、かつ高速鑄造時にも内部われを防止できる鑄造条件が求められた。

5. まとめ

1) 当初の W. B. - C. L. 型連鑄機では W. B. を出してから復熱やバルジングによる内部われ発生がおこりやすく、0.9 m/min 以上の引抜速度では内部われが発生した。このため冷却方式の改善を計り、W. B. とロール帯にスプレー冷却を採用した結果、1.3 m/min まで内部われを防止できることを確認した。

2) 内部われの原因は矯正、バルジングによる応力および復熱による熱応力があげられる。当社の C.

L. では、未凝固鑄片の矯正による影響は無視でき、復熱による熱応力、バルジング応力等が同時に作用しており、特にバルジングによる影響が大きいと考えられる。

3) 1.5~1.6 m/min の鑄造速度でも内部われの発生しない冷却条件を推定し、それに基づき改造を進めている。図 8 に計画中の冷却パターンの一例 (1.5 m/min) を示す。この冷却パターンの特徴は ① W. B. 内での直接冷却は W. B. 以下数 m の位置で生ずる最大バルジングを小さくするために予め凝固を促進させ、凝固殻を強固にするよう補助的に冷却するのであり、注水量は比較的小さい。したがって鑄型直下での凝固殻に生じる熱応力が小さいため、表面縦われの心配がないこと。② W. B. 直下から最大バルジングが発生すると考えられる位置までの注水量を最大とし、最大バルジング歪を許容歪以下におさえること。③ 最大バルジング発生位置以降は復熱を防止する程度に徐々に注水量を減少させていくこと、等である。

以上の結果、W. B. - C. L. 型連鑄機はスプレー内蔵 W. B. とロール帯のスプレー冷却とを組み合わせることにより、内部われ発生のない鑄片をより高速で鑄造できる鑄造条件を把握できた。

6. 引用文献

- 1) 副島, 森, 長岡, 綾田; 鉄と鋼 60 (1974), P. 259
- 2) 成田, 森, 綾田, 藤巻, 副島, 宮下; 鉄と鋼 60 (1976), S504
- 3) 井上, 小舞, 新実, 斉藤, 秋田; 鉄と鋼 60 (1974), A103
- 4) 広本, 大橋, 織田, 藤井; 鉄と鋼 61 (1975), P. 119
- 5) 佐藤, 北川, 川和; 鉄と鋼 61 (1975), P. 120
- 6) 反町, 江見; 鉄と鋼 63 (1977), S139
- 7) 成田, 森, 綾田, 宮崎, 藤巻; 鉄と鋼 63 (1977), S142
- 8) 成田, 森, 綾田, 宮崎, 藤巻; 鉄と鋼 63 (1977), S617
- 9) 丸川, 川崎; 鉄の凝固 (1978), P. 249
- 10) 成田, 森, 綾田, 宮崎, 藤巻; 鉄と鋼 64 (1978), S123

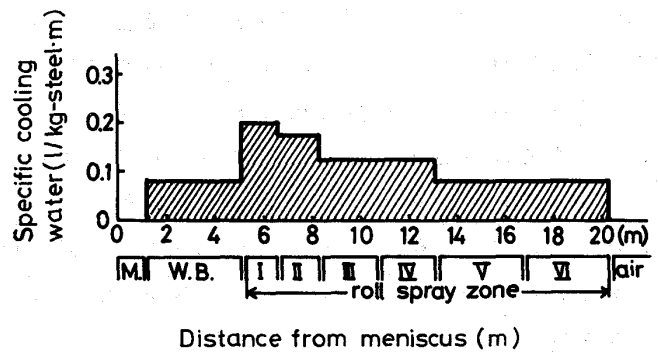


図 8. W. B. スプレータイプにおける冷却パターン (1.5 m/min)