

討19

双ロール型薄鋳片製造法の検討

日本鋼管(株) 中央研究所 ○西岡 信一 土田 裕
 北川 融 藤田 米章
 佐藤 博明 大槻 政明

1. 緒言

最近、設備の簡略化や工程省略によるコストの低減、あるいは急冷効果を利用した新材料開発などの目的で、熔融金属から薄鋳片を直接製造するプロセスが注目されている。これを量産鋼に適用する場合には、従来の連鋳法とは異なり、鋳型が鋳片と同期して移動する同期式連鋳法^{1)~9)}によって超高速で鋳造することが必須となる。また、素材となる薄鋳片は加工程度の少ない状態で使用されるため製品への影響が大きく、それ故に鋳片に要求される品質も厳しいものと考えられる。

著者らは、同期式連鋳法の凝固現象を基礎的に研究するため、双ロール法によるモデル実験、伝熱計算、溶鋼鋳造テストなど各種の検討を試みた。そして、鋳片の表面性状や内質におよぼす鋳造要因、あるいは成分系の異なる鋳片の凝固組織の特徴などについて種々の知見を得たので報告する。

2. モデル実験による検討

2.1 実験方法

鋳造状態の可視化などにより基本的現象の把握が溶鋼に比べ容易なパラフィン(融点70℃以下)を材料とし、双ロール法のモデル実験を行った。Table 1に実験装置の概略仕様を示す。この実験により、鋳造条件と鋳造の安定性および鋳片性状の関係について検討した。

2.2 結果

2.2.1 凝固シェル圧着条件の影響

双ロール法はロール上の凝固シェル同士を圧着して1枚の鋳片とする方法であり、この圧着条件と鋳造の安定性の間には密接な関係がある。これらの関係を模式的に示したのがFig. 1である。圧着直前の凝固シェル厚さが一定の条件(ロール回転数、湯温など一定)のもとで、ロールギャップを変えていくとロールのシェルに対する押付け力が変化する。ギャップが小さくて、鋳片へのロール押付け力が過大になる場合には、凝固シェル側から半熔融状態のパラフィンの絞り出しが起り、また得られた鋳片の表面に割れが発生した。絞り出しはシェル圧着部近傍で生じ、白濁したパラフィンの領域が透明なパラフィンの湯溜り中で拡大する現象として観察される。一方、ギャップが大きく押付け力が小さくなる場合、凝固シェルの未圧着に起因して鋳片のバルジングやブレイクアウトが生じやすく、鋳造は不安定となる。したがって、安定な鋳造を行うためには適正な圧着条件の設定が重要となる。鋼の鋳造においても類似した関係が成立すると推定され、上記の知見を参考に鋳造条件の検討を行った。

Table 1. Experimental apparatus. (paraffin model)

Item	Specification
Roll	400mmφ × 100mmW Material : steel Speed : max 20rpm
Weir	Material : acryl

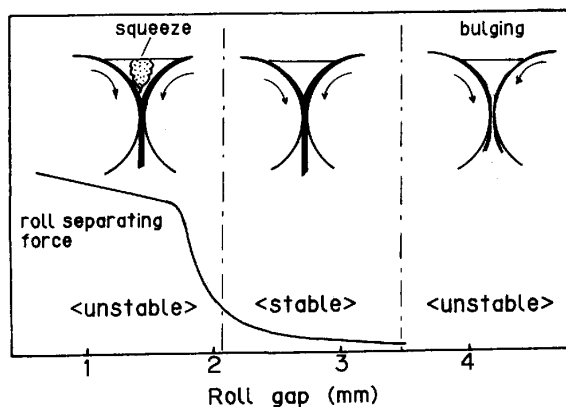


Fig.1 Relation between roll gap and behavior of solidified shells.

2.2.2 湯溜り温度

湯溜りの熱的挙動も鑄造の安定性を大きく支配すると考えられる。測定結果の1例を示したFig. 2からわかるように、凝固シェル近傍の溶湯温度は融点近くまで降下している。そして、鑄片に過度の圧下加わり低温の半熔融液が絞り出される条件下では、この温度降下した領域が拡大して周辺の温度は不安定となり、シェルが不均一に成長する。また、この条件下では湯溜り全体の温度も降下し、そのために正常な凝固を妨げるものと予想される。この絞り出しに起因する湯溜りの温度変化は、次項の計算結果から推定できる。

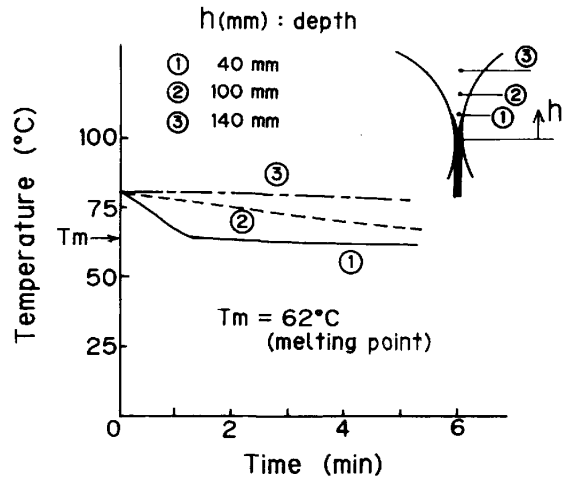


Fig.2 Temperature of molten pool.

3. 伝熱計算

双ロール法による溶鋼の鑄造状態を伝熱計算（数値シミュレーション）により推定した。計算はロール径方向の一次元非定常熱伝導を前提に行ない、鑄片とロールの温度パターン、および湯溜りの熱的挙動について検討した。

1例をFig.3に示す。これは湯溜り全体の平均温度の時間的推移を示したもので、その熱的平衡温度は絞り出し条件（凝固シェルの固相率）により異なることがわかる。特に過度の絞り出しを発生させると湯溜り温度の異常な低下を招き、そのため湯溜り内でも凝固が異常に進行するなど鑄造が不安定になると予想される。したがって、溶鋼の鑄造においても過剰な圧下に起因する濃縮液相の絞り出しを抑えた鑄造が必要と考えられる。

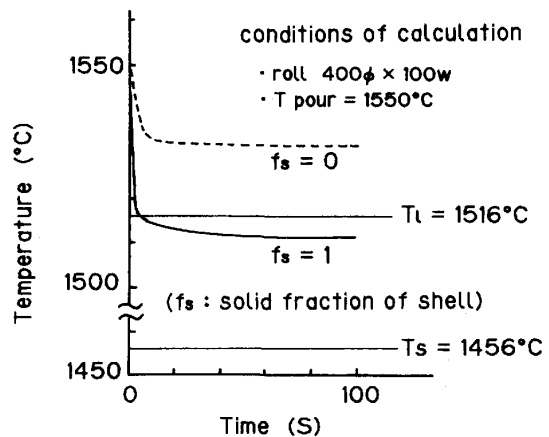


Fig.3 Mean temperature of molten pool.

4. 溶鋼鑄造テストによる調査

4.1 実験方法

平行に配した2本の水冷銅ロール間に溶鋼を注湯し、鑄片の表面割れや内質（偏析）、形成される鑄片厚におよぼすロール押付け力、鑄造速度などの影響を調査した。また、凝固組織の特徴も調べた。なお、ロールの寸法は、直径400mm、胴長100mmである。供試鋼を0.05% C鋼、0.2% C鋼、およびSUS304とした。

4.2 実験・調査結果

4.2.1 凝固組織

各成分系の鑄片の鑄造方向断面における凝固組織の観察例をPhoto 1に示す。内部に等軸晶の存在する鑄片もあるが、いずれの鋼種においても、冷却面近傍から内部へ向かって微細な柱状のデンドライトが成長している。これらデンドライトの主軸間隔は、最大40μ程度と狭く、冷却速度の大きかったこ

とがわかる。

4.2.2 鋳片厚

Fig.4に、鋳片厚と鋳造速度に関する実測値、および(1)式で求まる凝固係数の計算値の関係を示した。鋳造速度の増大に伴って得られる鋳片は薄くなり、また今回の実験範囲内では、凝固係数は $K = 12 \sim 16 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1/2}$ に相当する。なお、ロール押付け力の大きいほど鋳片がわずかながら減厚する傾向も認められ、上記凝固係数にはこの影響も含まれている。

$$K = (d/2) [r \cdot \arcsin(h/r) / V_c]^{-1/2} \dots\dots(1)$$

ここに、Kは凝固係数、dは鋳片厚、hはシェル圧着点からメナスカスまでの高さ、rはロール半径、 V_c は鋳造速度である。

ここではSUS304の場合について示したが、他鋼種における凝固係数もほぼ同じであった。

4.2.3 鋳片の表面性状および偏析

ロール押付け力を2～15 tonの範囲で変化させ、鋳片表面性状と偏析におよぼすロール押付け力の影響を調査した。ここでは現象の検出しやすい0.2% C鋼を用いた。

鋳片の鋳造方向断面の1例をPhoto 2に示す。

(1) 表面性状：ロール押付け力が15 tonの場合には、その鋳片表面に多数の割れが発生しているのに対し、押付け力2 tonの場合にはほとんど割れが発生していない。割れ発生の原因としては、次の様なことが考えられる。①凝固シェル厚が不均一なため、シェルの厚い部分が圧延される際に、それと隣接したシェルの薄い部分が変形に追随しなかった。②圧着点近傍において、鋳片が曲げ戻し歪を受けた。③圧着点近傍における鋳片温度が脆化域にあった。

鋳片に加わる押付け力が大きくなるほど、鋳片に作用するこれらの影響は強くなり、鋳片表面には割れが発生しやすくなる。

(2) 偏析：ロール押付け力が2 tonと低い場合、鋳片中心部には正偏析帯と負偏析帯とがほぼ交互に分布するもののその偏析帯は薄く、また偏析のない正常部も必ず存在する。これに対して、ロール押付け力が15 tonと大きい場合には、鋳片中心部に連続した厚い負偏析帯が形成される。

ここで、低押付け力において偏析帯が形成されるのは、主に鋳片圧着部近傍でのシェル厚の不均一性に起因すると推察される。すなわち、局部的に凝固の速い部分では、圧下によってデンドライト樹間の濃縮液相が絞り出され、この領域は負偏析帯となる。また、絞り出された液相は、凝固が遅くてあまり圧下を受けない部分に流れ込み、正偏析帯を形成する。一方、高押付け力の場合には凝固の速い部分のみならず、遅い部分においても大きな圧下を受け、濃縮液相が絞り出されて負偏析帯を形成すると考えられる。

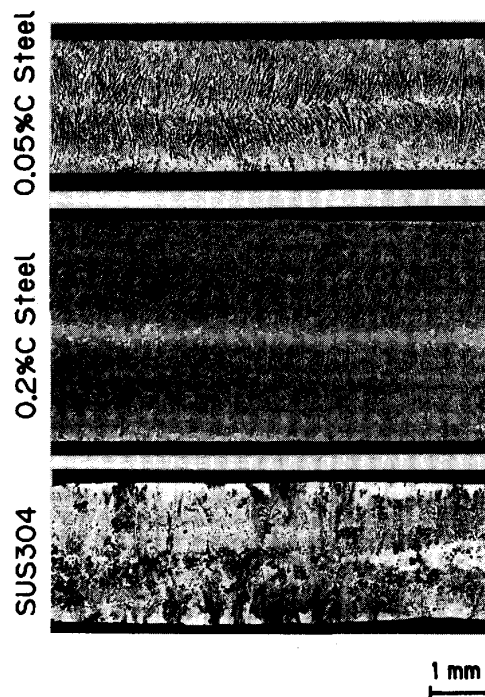


Photo 1 Typical solidification structure of twin-rolled cast sheets.

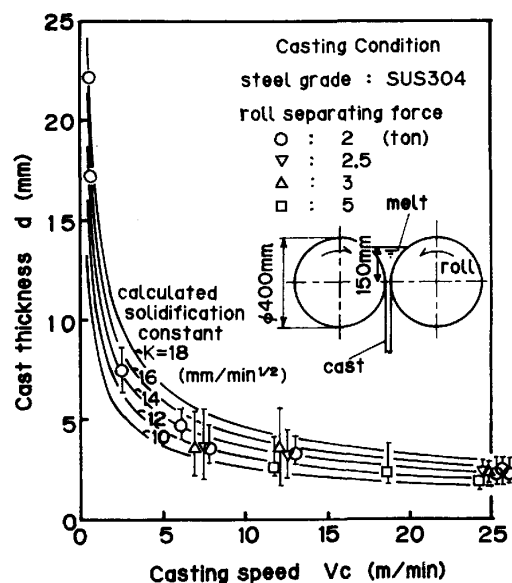


Fig.4 Relation between casting speed and cast thickness as a parameter of roll separating force.

Fig. 5 には、鑄造中にロールの回転を止めてそのまま凝固させたサンプルの分析値に基づき、湯溜り内の溶質の濃化におよぼすロール押付け力の影響を示した。ロール押付け力の増大に伴い、湯溜り内の濃度上昇程度は大きくなることを確認した。この現象は、鑄片中心部の負偏析帯発生傾向と対応しており、圧下によって濃縮液相が湯溜り内に絞り出されたことを示唆している。

以上のように溶鋼の鑄造テストの条件設定や結果の整理などに関し、モデル実験や伝熱計算の検討結果が有効な見通しを与え、効率的に実験をすすめることができた。



Photo 2 Effect of roll separating force on surface crack and segregation in twin-rolled cast sheets.

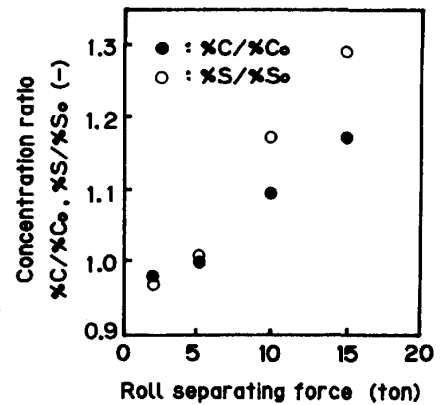


Fig. 5 Effect of roll separating force on solute concentration in molten pool.

5. 結 言

双ロール法による薄鑄片製造に関して各種の実験、解析を実施した。定量的な把握は不十分であるが、凝固特性および正常な鑄片を得るための要因などにつき種々の興味ある知見を得た。

参考文献

- 1) H. Bessemer : J. Met. 17 (1965) Nov. p. 1189
- 2) 塩沢 正一, 草川 隆次, 松浦 佑次 : 塑性と加工, 1 (1960) 2, p. 99
- 3) B. C. Whitmore, J. W. Hlinka : J. Met. 21 (1969) Aug. p. 68
- 4) 福沢 章, 中川 龍一, 吉松 史郎, 中村 保之 : 鉄と鋼, 54 (1968) 10, S428
- 5) 児玉 英世, 新山 英輔, 堀口 穰, 木村 智明, 遠藤 宗宏 : 鉄と鋼, 67 (1981) 8, p. 1394
- 6) 草川 隆次, 加藤 彰, 桜井 英之 : 鉄と鋼, 68 (1982) 11, S1023
- 7) 田中 稔, 吉松 史郎 : 鉄と鋼, 69 (1983) 14, p. 164
- 8) 渋谷 清, 小菊 史男, 小沢 三千晴, 菅 孝宏, 伊藤 庸 : 鉄と鋼, 70 (1984) 12, S970
- 9) 糸山 誓司, 中戸 参, 野崎 努, 垣生 泰弘 : 鉄と鋼, 71 (1985) 4, S272