

## 討20

### 異径双ロール法によるステンレス薄板の直接 casting

日本金属工業(株) 研究開発本部研究部 ○遠山直人 阿保秀年 新井 宏  
相模原製造所 義村 博

#### 1. 緒言

溶鋼からスラブ段階を経ることなく直接数mm厚の薄板を casting する手段<sup>1)2)</sup>は以前より多く提案されているが、実際に生産設備として操業されている例はない。しかし近年になって熱間圧延の省略によるコスト低減と、難熱間加工性素材の薄板化を目的として、直接薄板 casting の研究が注目されるようになった。著者らは一般に双ロール法と呼ばれている方法を変型させ、一對となった異径ロールをモールドとすることにより、溶鋼供給方法を改良した方式を採用し実験を行ってきた。本報告ではこの実験の概要と、これによって生成されたSUS304薄板の調査結果を示す。

#### 2. 実験機の概要

Fig.1 は本装置の模式図で、径の大きな下ロールとその斜め上に位置する小径の上ロール表面が冷却モールドとなつて、連続的に凝固シェルが形成され上方に導かれる方式となっている。溶鋼を供給するタンディッシュに組込んだノズルの先端は下ロール曲率に合うように加工されている。上ロールは下ロール直上より26°傾けた位置として、ノズル内にそのシャフトから下が入り、溶鋼表面にその円弧の一部が接触する。さらにこの上ロールは操業中は下ロールに対し一定圧力がかかる構造となっているが、これを下ロールから離して単ロールでの実験も可能となっている。ノズル材質はアルミナグラファイトで、下ロール面に合わせて加工した後、表面にセラミックコーティングを行なっている。ノズル後方につながるタンディッシュは、取鍋から受ける溶鋼の湯面レベルを一定にするため、本機では溶鋼がオーバーフローする穴を開け、湯面の変動を押さえている。生成した板は、はぎ取り板で下ロールから離れ、先にある巻き取り装置に巻き取られる。尚各ロールは共に内部水冷を行って温度の上昇を押さえている。各部の寸法をTable.1に示す。

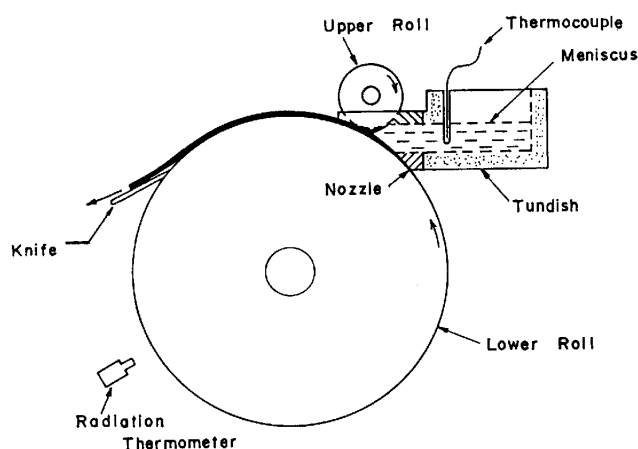


Fig.1 Schematic drawing of experimental strip caster

Table 1 Specification of equipment

Upper Roll	Material	Mild Steel
	Diameter	200 mmφ
	Cooling Water	5 Nm <sup>3</sup> /hr
Lower Roll	Material	Stainless Steel
	Diameter	1020 mmφ
	Cooling Water	25 Nm <sup>3</sup> /hr
Motor	AC-5.5kw-VS Motor x 2	
Nozzle	Material	Alumina Graphite + Ceramic Coating
	Width	300 mm

#### 3. 実験方法

供試溶鋼として300kgのSUS304を高周波溶解炉にて溶解し、これを取鍋に移しストッパーで流量を制御しながらタンディッシュに注湯している。 casting 時間は約3分である。

タンディッシュおよびノズルは予熱をして、タンディッシュ内での溶鋼過熱度を50~70℃とした。ロール周速は、20、30m/minで行っている。巻き取った板は、冷却後1m間隔で切断し種々の調査を行なった。

#### 4. 実験結果および考察

#### 4-1. 板の性状

Photo.1 は上ロールを使わないで単ロールにて生成した板の断面を示している。自由凝固した板の上面側は 0.3mm 程度のうねりがあり、生成条件によってはこの谷部に写真に見られるような巣のようにつながった割れが発生する。このため両面ともロールによる凝固層を形成させることが薄板鋳造法として有効であると判断した。

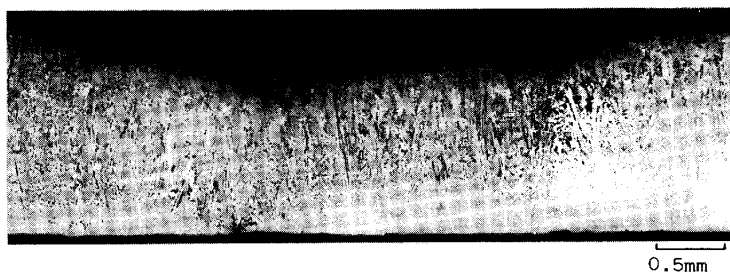


Photo.1 Transverse section microstructure of cast strip without upper roll

Fig.2 は 20m/min で鋳込んだ場合に得られた板の鋳込方向に沿った代表的な板厚変化を示したものである。溶鋼レベルにより板厚の変動が生じ、特に溶鋼レベルが低下すると上ロールによる冷却で凝固すべき凝固層が形成しないため Photo.1 のような表面性状の板となる。図中の線のとぎれたところは、この部分に相当する。幅方向の板厚の分布は Fig.3 のようになるが、時間の経過につれてロール表面温度の上昇によるヒートクラウンの影響を受けるようになる。これを防ぐには、ロールの冷却方法や膨脹を逃がすためのロール構造にくふうを必要とする。

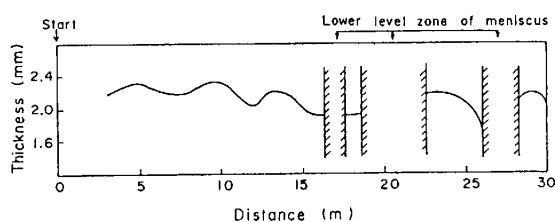


Fig.2 Thickness changes from start

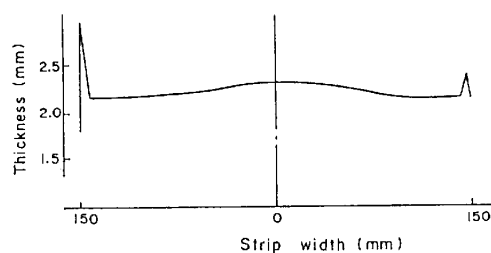


Fig.3 Thickness changes of width direction

下ロールの表面温度を、放射温度計によりノズルと反対側 (Fig.1) の位置で測定し、Fig.4 に示している。さらに下ロール表面温度の推移を知るため、差分法<sup>3)</sup>を用いてロールの厚み方向の温度分布を計算した。結果を Fig.5 に示す。境界条件として、ロールと溶鋼が接触している間の熱伝達係数を Fig.4 の実測値にあうように定めた。さらに板がロールからはぎ取られるまでは、ロールと板との間のふく射伝熱、その後はふく射と対流による伝熱として計算している。ロール材質としたステンレス鋼は熱伝導率が小さいため表面温度はノズル内を通過する時著しく上昇することがわかった。

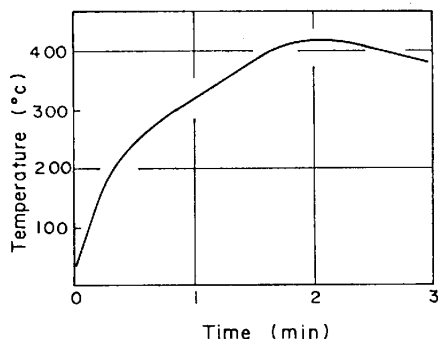


Fig.4 Measured temperature of lower roll surface

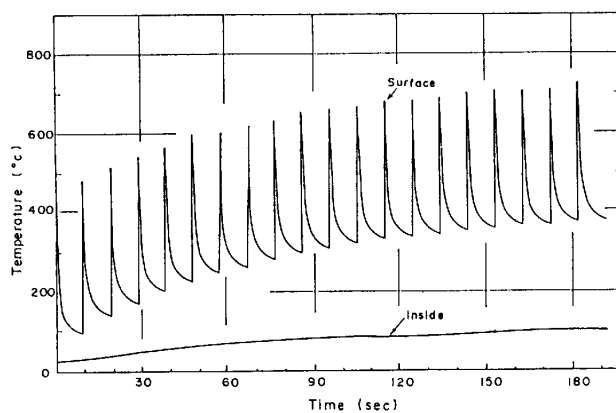


Fig.5 Relation between calculated lower roll surface temperature and time

生成した板の表面外観をPhoto.2に示す。表面性状は、おおむねロール表面がプリントされた状態であるが、下ロール面側にノズルのコーティング材が押し込まれた所と、メタルがラップした部分が若干見られた。またエッジ部には、上ロールとノズルサイドへの溶鋼のさし込みがあるとバリや割れが発生することがある。

上ロールによって生成する凝固シエルの受ける曲げ歪みについては、このシエルの中心を中立軸とすると、最もその値が大きくなる表面では次式で表わされ、

$$\varepsilon = \frac{t_1 / 2}{r_1 + t_1 / 2} + \frac{(t_1 + t_2) / 2}{r_2 + (t_1 + t_2) / 2}$$

$r_1$  : 上ロール半径  
 $r_2$  : 下ロール半径  
 $t_1$  : 上ロール側凝固シエル厚  
 $t_2$  : 下ロール側凝固シエル厚

本機では 0.6% となる。歪速度は同じく上ロール側表面でロール周速 20 m/min の場合 0.67/s と大きな値となる。こうした凝固点近傍での歪みによる割れ発生限界は歪み量と歪速度によって決まるが、本実験条件下では適切な溶鋼温度であれば板幅方向の割れは見られなかった。一方、縦方向にはPhoto.3 のように凝固遅れと見られる割れが発生することがあり、今後の課題のひとつとなっている。

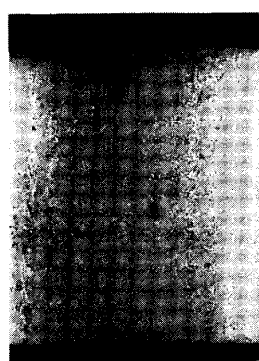


Photo.3 Transverse section photograph of a longitudinal crack

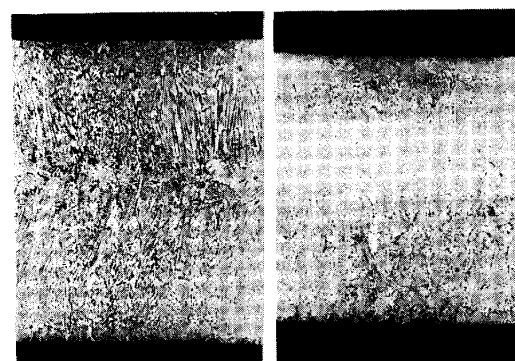


Photo.4 Microstructure of longitudinal section of cast strip  
 a) Little reduction  
 b) Large reduction

#### 4-2. ミクロ組織

Photo.4 に生成した板の縦断面組織を示す。微細なデンドライト組織が両面より発達しているが、上下ロールへの溶鋼の接触時間が異なるため、デンドライト先端は板厚中央からずれている。上ロールの圧下を強くするとPhoto. 4 (b)のように中心部の組織の変化が起き、 $\delta$ -フェライトが $\gamma$ 化した加工組織となる。Fig.6 は圧下率とフェライト量の関係を示したもので加工度につれて $\delta$ -フェライトが減少しているのが

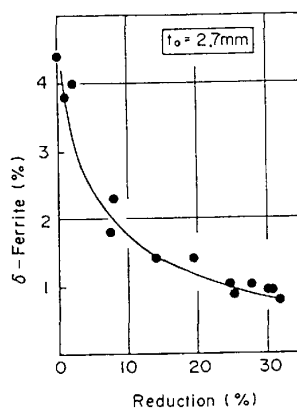


Fig.6 Effect of working under solidifying on  $\delta$ -ferrite contents

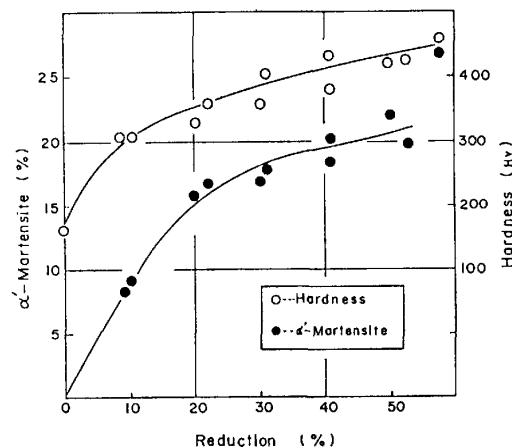


Fig.7 Relation between  $\alpha'$ -martensite, hardness, and reduction

わかる。またE PMAで板厚方向の偏析を調査した結果、こうした不均質な組織近傍においてもNi、Cr、Sの偏析は見られなかった。

デンドライトの二次アーム間隔は $9\mu$ で、従来の連铸材における表面付近のそれが $20\mu$ 程度であるのに比べ非常に細くなり、冷却速度は $10^3\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 程度と推定される。<sup>5) 6)</sup>

#### 4-3. 機械的性質

铸造後の板を酸洗した後、直接冷間圧延を行った。このときの表面硬度の変化および加工誘起マルテンサイトの量をフェライトスコープにより測定した結果をFig.7に示す。

またこの板を $1150^\circ\text{C}$ で2分間焼鈍した後の断面ミクロ組織をPhoto.5に、機械的性質をTable.2に示している。供試材はすべて表面無手入れの状態のものを用いている。これらのことから本製法で製造されたSUS304薄板は、従来品に対し十分代用可能であることがわかる。



Photo.5 Microstructure of the strip after cold rolling and annealing

Table.2 Mechanical properties of finished plates

Elongation	... 56.2 %
Tensile Strength	... 58.6 kg/mm <sup>2</sup>
0.2% Proof Stress	... 26.4 kg/mm <sup>2</sup>

#### 5. 結言

薄板の直接铸造を目的とし、異径双ロールを用いた実験機によりSUS304の薄板の製造を試みた。ロールスピード20、30m/minにより約300kgを完铸した結果、部分的表面欠陥はあるものの本方式により連続的な薄板の铸造が可能であることが確認できた。今後はさらに容量を増すことで、装置および生成される板の経時変化を明瞭にするとともに鋼種の拡張を計ることを考えている。

#### 5. 参考文献

- 1) 塩沢, 草川, 松浦: 塑性と加工, 1 (1960), p. 99
- 2) J. F. B. Wood, P. C. Regan: Iron & Steel Eng., 12 (1971), p. 47
- 3) A. Mizikar: Trans. Metall. AIME., 239 (1967), p. 1747
- 4) 木村智明: 西山記念技術講座, 69 (1980) p. 353
- 5) 郡司, 日下, 石川, 須藤: 鉄と鋼, 59 (1973), p. 23
- 6) M. c. Flemings: Interim Report Contract No. DA-19-020-AMC-5443(X)