

## 討19 異径・異周速圧延機による高強度鋼板の圧延

石川島播磨重工業株式会社 横浜第二工場 塩崎宏行 木崎皖司 佐藤一幸  
技術研究所 三上昌夫

### 1. ま え が き

冷間圧延時に高い変形抵抗を示す高強度鋼としては、ステンレス鋼とけい素鋼とが最も有名である。これらの鋼板は一般に80mm以下の作業ロール径をもつ20段センジマ圧延機で圧延されている。

しかし、作業ロール径が小径で、ロールの本数が多いことは、圧延速度の高速化がはかりにくく、またロール原単位も4段圧延機に比べて高くなるなどの欠点があった。そこで、作業性がよく高速化がはかりやすい4段圧延機に近い形式の圧延機でこれら高強度鋼を圧延したいというニーズは大きい。また、最近では高強度自動車用鋼板の普及に伴い高強度鋼の大量生産という面からもこの種の圧延機が注目されている。

一方、最近圧延圧力を減少させる技術として異速圧延の研究が進み、実用の段階までできている<sup>1)</sup>。また、異径ロールの組み合わせで小径化をはかる研究も進み、種々の形式の圧延機が提案されている<sup>1)</sup>。本報は実験用圧延機で行ったステンレス鋼板の異速圧延の結果を参考として、最近開発された作業ロールに水平押しロールを有した異径・異速圧延機(Flexible Flatness Controll Mill略してFFCミル)<sup>2)</sup>でステンレス鋼板を圧延する場合の、作業ロール径、駆動方式、形状制御能力などを検討したものである。

### 2. 実験用圧延機によるステンレスの圧延実験

#### 2-1 実験方法

供試圧延機は150φ/400φ×350ℓ(4Hi)および400φ×350ℓ(2Hi)の独立駆動方式圧延機である。圧延油は牛脂およびソリブル油の2種類を用いた。実験材はSUS304で、元板厚は0.5, 0.4, 0.32mmの3種類である(いずれも焼鈍材)。実験は等速圧延(NR)と異速圧延(IPV)につき行い、実用的な1パス当り圧下率(約10%以上)でパスを繰り返したときに到達する最小板厚hminを求めた。

#### 2-2 実験結果

出側板厚とパスNoとの関係を図1に示す。ワークロール径150φ、元板厚(Ho)0.32mm、牛脂の場合についてNRとIPVの最小板厚hminを比べると、NRの114μm(6パス)に対しIPVは72μm(5パス)とかなり改善されている。Ho=0.5と0.32mmとを150φ、牛脂、IPVについて比べるとhminは79μmと72μmでほぼ等しく、元板厚の影響は小さい。ロール径の影響をみるため、Ho=0.5mm、IPV、牛脂について150φと400φのhminを比べると79μmと151μmであり、ロール径の影響は大きいことが分る。ソリブル油と牛脂のhminを150φのIPVについて比べると123μmと72, 79μmであり、hminの低減には圧延性の良い牛脂が適していることが

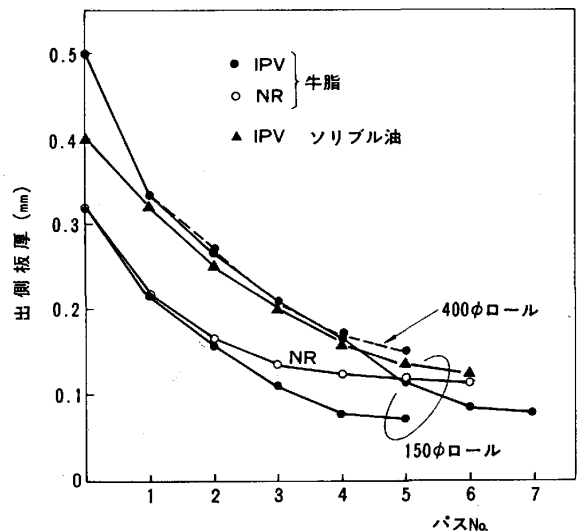


図1 各パス出側板厚

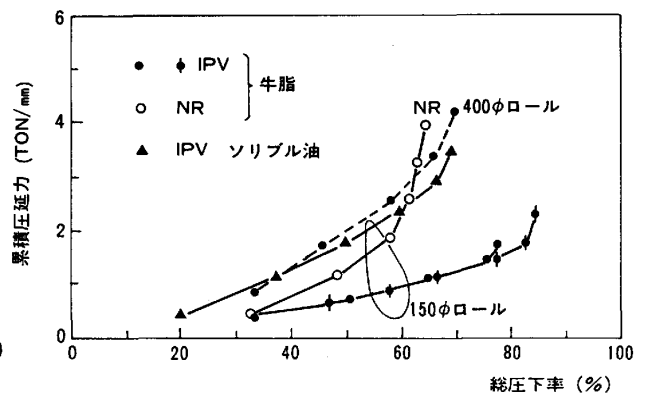


図2 累積圧延力

分る。

以上より、 $h_{min}$ を下げるためには異速、小径ロール、牛脂が適していることを実験により確認できた。各ケースについて単位幅当りの累積圧延力と総圧下率 ( $r_t$ ) との関係を図2に示す。150φ、牛脂のケースについてIPVとNRを比較するとIPVはNRに比べ累積圧延力は著しく減少し、NRの圧延限界  $r_t \doteq 65\%$  に対し、IPVのそれは  $r_t \doteq 85\%$  と大幅に改善されている。IPV, 150φにつき、ソリブル油と牛脂を比べると牛脂が、またIPV, 牛脂につき150φと400φを比べると小径ロールがIPVと同様に圧延限界に対し著しい効果のあることが図2の累積圧延力からも分る。

なお、張力条件はNRとIPVの比較圧延では張力応力をほぼ等しくし、圧延限界に近いところでは最大で二次元変形抵抗の40%までかけた。また、1パス当りの圧下率は圧延機の許容荷重(200tonf)および板表面状態の制約から平均圧延圧力が一定値以下となるように選り圧延した。

### 2-3 圧延可能最小板厚

図1から求めた最小板厚  $h_{min}$  とロール径との関係を図3に示す。図中には「異速圧延における圧延可能最小板厚の理論」<sup>3)</sup>により計算した牛脂相当の圧延可能最小板厚も示してある。計算条件は、二次元変形抵抗  $200 \text{ kgf/mm}^2$ 、圧延摩擦係数(牛脂)  $0.03$ 、入側張力  $40 \text{ kgf/mm}^2$ 、出側張力  $80 \text{ kgf/mm}^2$  である。またIPVの場合には、5パス目以降の実験についてCSR(クロスシャ領域比)の平均値を求めると約70%なので、異速圧延による圧延可能最小板厚改善係数  $\beta$  は  $0.5$  とした。以上のように諸値を決めると圧延可能最小板厚の計算値はロール径比例となるが、計算は実験に対しほぼ妥当な値を示している。

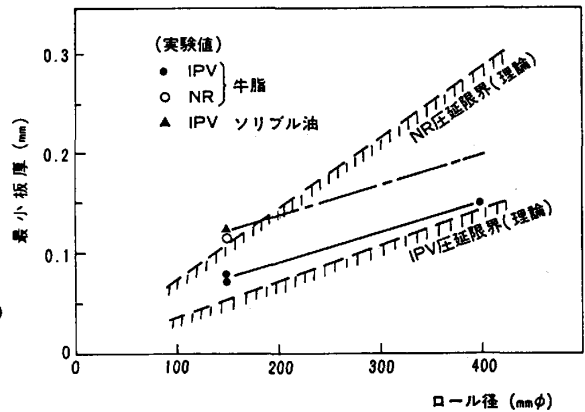


図3 最小板厚とロール径

## 3. ロール径の選定

### 3-1 ミル形式と圧延条件

ミル形式としては右図に示すごとく、5段形式で作業ロールは大径・小径の異径の組合せとなっている。また駆動方式は上下作業ロールが独立に駆動され異速圧延が可能である。また小径作業ロールには押し力制御可能な分割水平押しロールが配置されている。

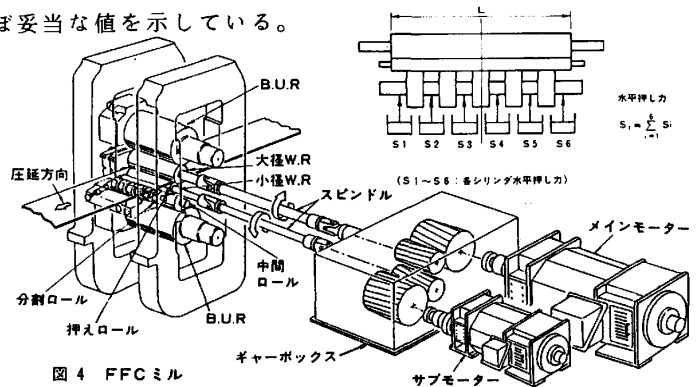


図4 FFCミル

ロール径の選定に当り下記の圧延条件を考えた。

圧延材: SUS304 (二次元変形抵抗は下記)

$$2k = 220(0.002 + \bar{\epsilon})^{0.37} \text{ kg/mm}^2$$

最小厚み:  $0.1 \text{ mm} \times 1000 \text{ 幅}$

圧延スケジュール:

Sch I:  $3.0 \text{ mm} \rightarrow 1.5 \text{ mm}$ , 5パス

Sch II:  $0.75 \text{ mm} \rightarrow 0.3 \text{ mm}$ , 4パス

Sch III:  $0.3 \text{ mm} \rightarrow 0.1 \text{ mm}$ , 5パス

各パスとも初期板厚は焼鈍状態

圧延油: 牛脂又はそれに準ずる圧延油 (圧延摩擦係

数は1パスから0.06, 0.05, 0.04, 0.03, 0.03とした)

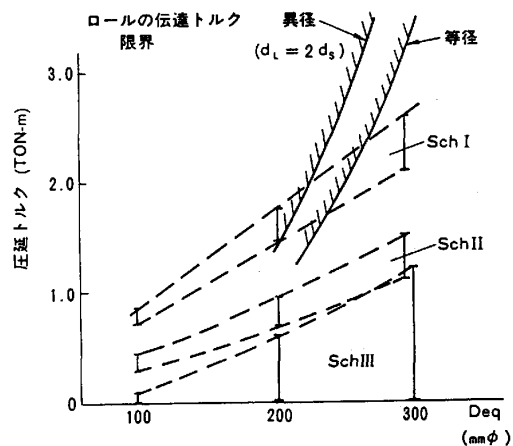


図5 圧延に必要なトルク (1本分)

3-2 作業ロール駆動限界

図5は各圧延スケジュールに必要な圧延トルクと作業ロール径との関係を示す。必要圧延トルクの最大はSchIで生ずる。この最大線とロールが伝達可能なトルク線との交点が駆動限界の最小ロール径を与える。図5より等径ロールの場合D=265mmである。

一方伝達しうるトルクはロール直径のほぼ3乗に比例するので、等価ロール径Deqが等しくとも異径にした方がより伝達トルクはアップできる。アップ倍率は $(ds^2+dl^2)/2deq^2$ で求められる。ここで、ds, dlは各々大径及び小径ロールの直径を表わす。dl=2dsとした場合、図5より限界ロール径は225mmまで下げられる。

異速圧延（IPV圧延）で大幅に圧延力を下げる必要のあるのはSchIIとSchIIIとである。その際高速ロール側（大径側）の圧延トルクは大幅に増大する。等価ロール径をパラメータにして、トルク限界線を求めたのが図6である。なお、この場合最大トルクはSchIIで発生する。

3-3 ロール径の選定

以上求めた必要トルク限界、高速ロールトルク限界及び第2章で求めた最小板厚限界とをまとめて図7に示す。

これより結論として

$$Ds = 180\phi, D_L = 380\phi \sim 420\phi$$

が適当ロール径と考えられる。

なお、作業ロールと中間ロールの面圧は、図8に示すごとく、SchII及びSchIIIを異速（IPV）にすれば、図7に示す限界範囲内では許容範囲内に入っていることが分る。

4. FFCミルの形状制御効果

4-1 作業ロール（W.R）径小化と形状制御性能

従来の4Hiミルで単にW.R径を小径にすると水平方向の剛性が低下し、張力変動などの水平方向力の外乱によって板形状が変化しやすくなる。また、小径W.Rはヒートクラウンの変化が急となり、これも板形状が乱れる原因となる。一方、小径W.RではW.Rベンダの効果が板中央部にまでは及ばないため、従来のW.Rベンダだけではこれらの形状外乱に対処できない。このため、W.R径を小径化するには形状制御性能も同時に考慮する必要がある。図4にFFCミルのロール構成を示したが、FFCミルはW.R小径化効果と形状制御性能の向上を狙った圧延機である。その特徴として、①W.Rのオフセット量を大にして分割ロールと水平ベンディング機構により小径W.Rの水平たわみを積極的に形状制御に活用する、②垂直ベンダと水平押し力の組合せにより複合波形状制御が可能、③圧延負荷を受けるロールが従来の4Hiミルに近い直列配列でしかも構造が簡単である、④分割ロールは圧延力の1/3程度の負荷しか受けないので製品の分割ロールマークの問題がない、などが挙げられる。

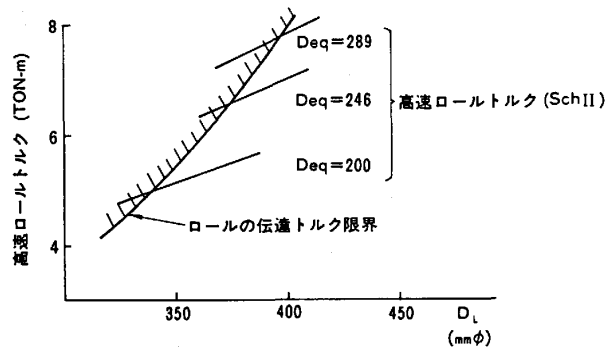


図6 高速ロールトルク限界線

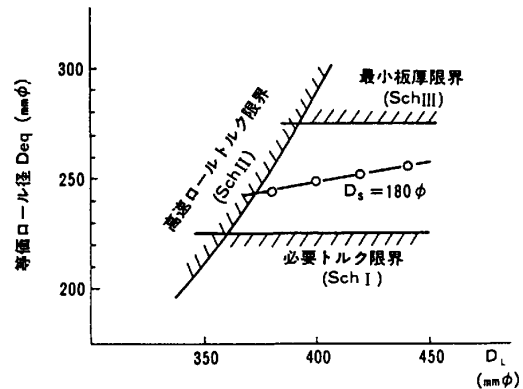


図7 作業ロールの限界線

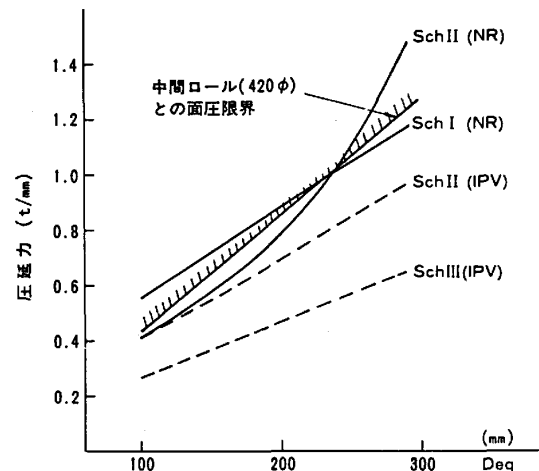


図8 各スケジュールにおける最大圧延力

4-2 FFCミルの形状制御性能

表1の条件でFFCミルの形状制御性能を分割モデルにより計算した。図9に示す水平押し力パターンと垂直ベンダ力を組合せることにより板形状制御が可能である。図10に、D、Eパターンの板厚分布のAパターン（均一押し）からの差を示す。各パターンに対応した板厚分布が得られている。

表1 FFCミル形状制御性能計算条件

|       |                    |              |
|-------|--------------------|--------------|
| ロール寸法 | 作業ロール径             | 180φ/420φ mm |
|       | 中間ロール径             | 420φ mm      |
|       | 控ロール径              | 1250φ mm     |
| ロール間隔 | 胴長                 | 1100 mm      |
|       | 作業ロールオフセット量        | 20mm         |
| 負荷条件  | 水平押し力負荷角度          | 15°          |
|       | 垂直ベンダ力             | ±31.5 TON    |
|       | 板幅                 | 930mm        |
|       | 板厚(入側→出側)          | 0.84~0.8mm   |
|       | 圧延荷重               | 426 TON      |
|       | 水平押し力 <sub>r</sub> | 32~88 TON    |

図12の板厚分布形の平面表示は、図11の板厚分布結果において

$$CrE = (\text{中央の板厚}) - (\text{中央から} \frac{1}{4} \text{板幅位置の板厚})$$

$$CrQ = (\text{中央の板厚}) - (\text{板端位置の板厚})$$

として、CrEを縦軸、CrQを横軸にとり、図中に示す様な板クラウンの分布の形を分類表示するものである。

図13はFFCミルの形状制御範囲を示す。従来の4HiミルのW.Rベンダのみではこの平面上には線としてしか現れてこない。一方、FFCミルでは、水平ベンダ、垂直ベンダ効果及び水平押しパターン効果を組合せることにより、広範囲の複合形状制御範囲を得ることが可能である。

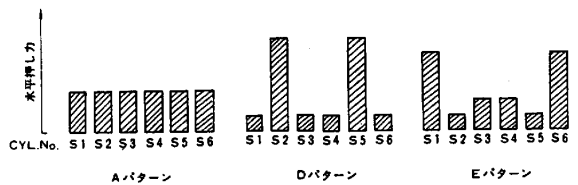


図9 水平押し力パターン

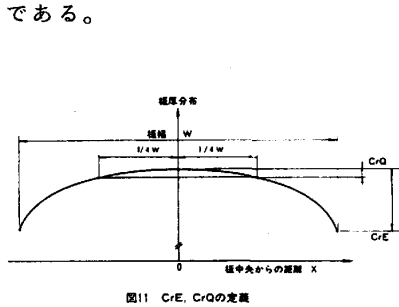


図11 CrE, CrQの定義

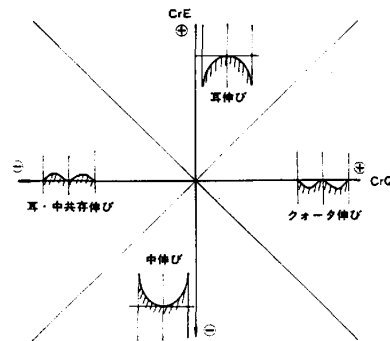


図12 2次元表示による板厚分布形の分類

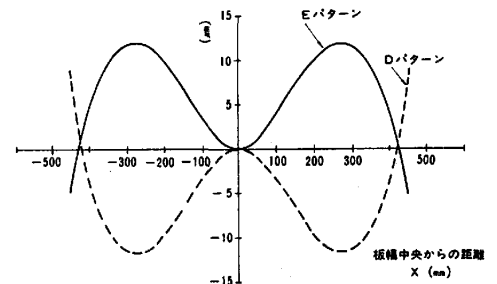


図10 Aパターンからの板厚分布の差

5. ま と め

高強度鋼の典型であるステンレス鋼板を異径・異速圧延機を使って圧延する場合の最適ロール径及び形状制御能力について検討した。

従来からの4Hiミルに近いロール径（大径ロール420φ，小径ロール180φ）で0.1mm厚×1000mm幅のSUS304が圧延可能なことがわかった。

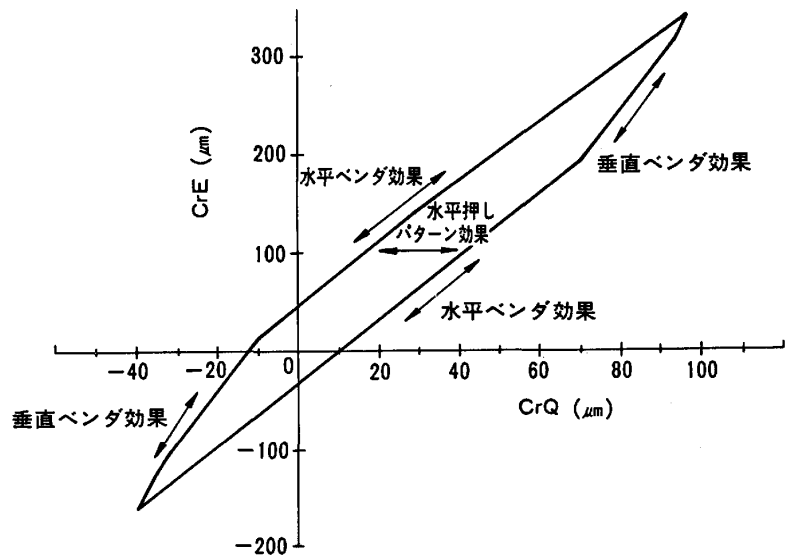


図13 FFCミルの形状制御範囲

文 献

- 1) 塩崎：第92回西山記念技術講座(1983), 193
- 2) 鉄本他：塑性と加工, 23 (1982), 1259
- 3) 塩崎他：第33回塑加連講論(1981), 139