

薄鋼板圧延の歴史と技術の現状

藤田文夫

NKK 総合材料技術研究所プロセス研究センター 主幹研究員

Fumio Fujita

Strip Rolling

1 はじめに

圧延工程は大きく熱間圧延工程、冷間圧延工程に分けて考えられる。わが国での鉄鋼製品のうち鋼板の占める割合は60%以上であり、さらに熱間薄板ミルによる圧延は鋼板全体の80%近くになっている。冷間圧延はそのうちの80%以上に施される。このように薄鋼板の圧延は、現在では鉄鋼製品のうちの最も生産量の多い工程の一つとなっているが、その技術が確立したのはこの100年ほどのことである。当初は金属を薄くするのが圧延の主目的であったが、現在では材質を調整する役割も担っており、各種最先端の制御技術も導入されてきている。この解説では、薄鋼板圧延の歴史と技術の現状を見直してみたい。次に進むべき方向を模索する参考になれば幸いである。

2 薄鋼板圧延の歴史¹⁾

薄鋼板の圧延はヨーロッパに始まり、アメリカで近代的な技術の形態をそなえ、日本で大量生産への発達を見ている。この歴史を4つの期間で考えてみることにする。

2.1 創生期（～1800）

非鉄金属の冷間圧延は14世紀から試みられているが（Fig.1参照）、鋼の熱間圧延は16世紀にドイツで開始された比較的新しい技術である。それとほぼ時期を同じくして、ベルギー、英国でも開始されている。それから17世紀の前半までは、圧延に関する発展の記録はないが、1665年に操業されているミルの記録がある。ドイツではバーからの薄板圧延は17世紀の始めから行われていた記録があり、英国のブリキ市場をほぼ100年間独占していた。

1682年には英国で鉄鋼用の大型熱間圧延機が操業を開始し、バーから板を圧延し、更にスリットされて、棒が製造されている。1720年以前には英国で水車駆動の圧延機によって普通の棒からのブリキ用の薄板の圧延が開始され始め、英国がこの後150年間ブリキ板の主生産国となった。

18世紀の初期には圧延機は英国や、ヨーロッパにおいて普通に用いられるようになっている。18世紀の後半の英国のpatentに見られる圧延機はほぼ現在の形態となっている。また、板を2枚4枚と重ねて圧延して、薄板を製造する方法もこの時期に行われ始めた。また、この時期には棒鋼圧延にタンデムミルが用いられ始めている。

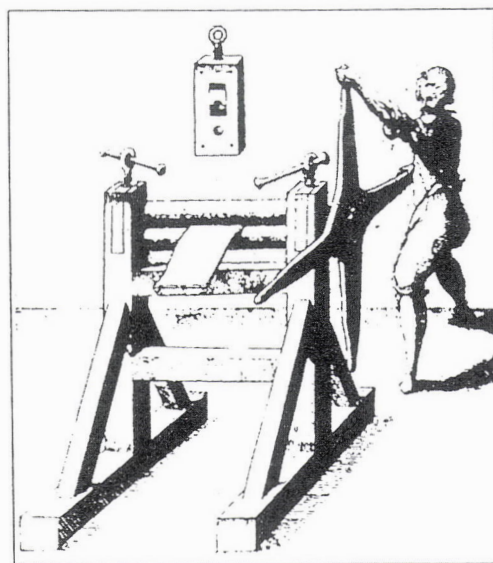


Fig.1. Mill to roll lead of the 1960's.

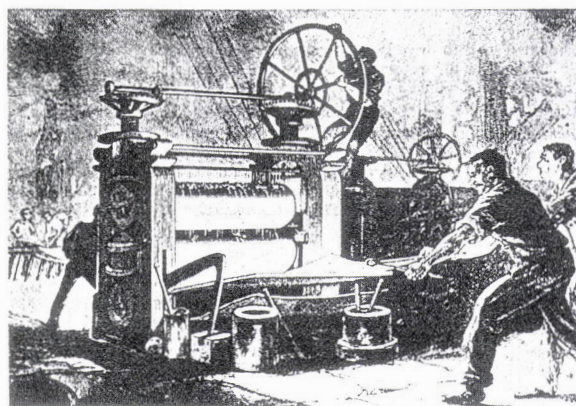


Fig.2. Typical sheet mill of the 1860's.

2.2 確立期（～1930年代）

最初のレバースタイプのプレートミルは英国で1854年に操業を開始し、蒸気船の建造に用いられている。現在の形の4段圧延機は1872年に英国でレールを製造する素材を圧延するミルに採用され始めた。

1880年前後の薄板圧延はFig.2に見られるような3段圧延機によって行われていた。熱間薄板圧延のタンデム圧延は1890年前後に試みられ始めているが、製品製造には至っていなかったようである。この技術の商業的な成功は1920年代の米国で実現を見ている。また、本格的な4段圧延機の4スタンドタンデム冷間圧延機も1926年にアメリカで操業を開始している。圧延可能な冷間圧延製品の幅も1900年以前は250mm以下であったが、この時期には2000mmを越える幅の圧延が行われるようになっていく。日本においても近代的なタンデムミルが実現するまでは、3段のプルオーバーミルによる製造が主であった。

2.3 拡大期（～1960年代）

第2次大戦後しばらくまでは、アメリカの鉄鋼業が世界を牽引していた。この時期には5大湖周辺に大製鉄所が建設され、近代的な熱間圧延機が稼働している。5スタンドのブリキ用圧延機、より薄いブリキを圧延するためのダブルレデュースミルなど、現在の大量生産圧延ミル形式はほとんどこの時期に確立されている。日本は戦後の復旧の需要と、産業の飛躍的な発展に合わせるように米国の製鉄技術を導入し、各地に一貫製鉄所が建設された。1960年代にはアメリカの最新の圧延技術を導入し、現在も活躍しているミルが多い。

2.4 熟成期（～現在）

冷間圧延機の完全連続化は1971年に最初に日本で完成され、本格的な大量生産の動きが始まった。米国では、鉄鋼産業は投資の対象として低い評価が与えられるようになり、この時期を境に、製鉄技術、圧延技術の中心は日本に傾斜していった。その後約30年間、板厚制御、プロフィール・形状制御などの新しい圧延技術のほとんどは日本で開発されている。圧延機のコンピューター制御や、圧延現象の解析も日本を中心として盛んに行われるようになった。冷間圧延の連続化による大量生産システムは日本におけるほとんどのミルで実現している。電動機もインバーターを用いた精密な速度制御が可能な交流式が一般化してきている。また、初めての熱間圧延での連続化も実現を見ようとしている。

しかしながら、この数年は、経済情勢の急変とともに、近代的な設備を新設した東アジア諸国での鉄鋼生産がそのコスト競争力を武器として台頭し始め、また、米国におい

ても鉄鋼業の立ち直りの兆しを見せ始め、日本の鉄鋼業は従来のように技術の優位さのみでは成り立たなくなりつつある。

3 薄鋼板圧延技術の現状

前章で概説した歴史のようにこの10数年の鉄鋼圧延技術の中心は日本にあったといえる。各技術要素毎に現状を概説したい。

3.1 板厚制御技術²⁾

薄板圧延において板厚制御は最も重要な技術である。ことに熱間圧延においては、連続圧延機のロールギャップを圧延荷重の推定値をもとに設定し、圧延開始直後から目標板厚に仕上げる必要があるとされる。また、種々の条件の変化によって生じる荷重変化に応じた制御を行って、一定の板厚を得ることが必要であり、要求される板厚精度は年々厳しくなっている。圧延機は、ロールを含めてほとんどが鉄鋼材料で構成されているが、加工対象が鋼であることから、圧延荷重が大きく、圧延中の圧延機の弾性変形が、要求される板厚精度に影響する大きさとなる。現在薄鋼板圧延に用いられている4段圧延機の剛性はほぼ、500～600ton/mm程度であり、幅1m～2mの薄板を圧延する場合の圧延荷重は約1000～2000tonとなるため、圧延中にはロールの隙間は2～4mmも広がることになる。また、圧延荷重が数%変化すると、ロール隙間は数10μm変化することになり、近年の製品に要求される板厚精度に影響を与えることになる。

ミルのギャップ変化と圧延荷重の関係は、

$$P=f(h_2-gap_0) \quad \dots\dots\dots (1)$$

また圧延荷重は、

$$P=k \cdot \sqrt{R(h_1-h_2)} \cdot Q_p \cdot w \quad \dots\dots\dots (2)$$

で表される。入り口板厚 h_1 のとき、ロールギャップを gap_0 に設定した圧延機で圧延したときの板厚 h_2 、圧延荷重 P は(1)、(2)式を連立させて求められる。ここに、 $f(x)$ はミル伸び曲線を表す式、 Q_p は圧延荷重関数と呼ばれる関数である。この関係をFig.3に示す。

ミル伸び曲線は、圧延機が弾性系であるため、基本的には直線であるが、ロール圧下装置のヒステリシスや、機械的なガタ、ワークロールとバックアップロールの接触状態の変化などによって非線形性を有する。

板厚制御は当初、ロールギャップ制御が電動式のスクリ

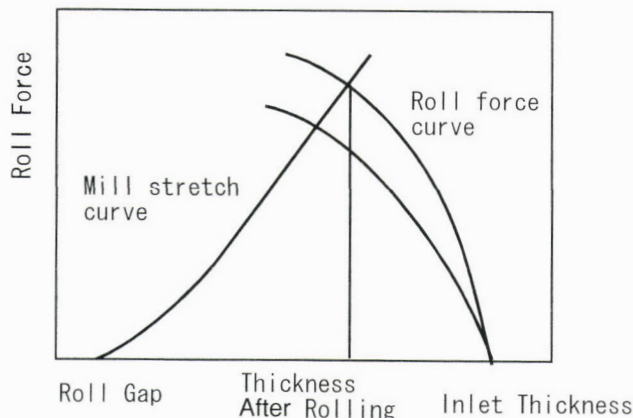


Fig.3 Mill stretch curve and roll force curve.

ューダウンによっていたため、十分な応答が得られなかった。しかしながら、応答遅れを解消するために、板厚計の計測結果を待たずに圧延荷重の変化を計測して、ロールギャップを制御するゲージメータ制御またはBISRA制御と呼ばれる制御が行われる。これは、圧延開始後の安定した時の圧延荷重を基準として、時々刻々の圧延荷重との差 ΔP から、次式で計算されるロールギャップ値を制御する方法である。

$$\Delta gap + \frac{\alpha}{K_c} \cdot \Delta P = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 α はチューニング率、 K_c は設定したミル剛性(1/ミル伸び)である。近年圧下装置に油圧シリンダーを組み込むようになり、応答の速いロールギャップ制御が可能になっている。このとき、 $\alpha=1$ とすることによって、荷重変動による板厚変化を無くすることができ、ミル剛性を見かけ上無限大化できる。また、圧延荷重の予測精度、ミル伸び曲線の精度を向上させて、式(1)から直接ロールギャップを設定する、絶対値AGCも実現している。この方法によれば、板厚や、材料が大きく変化しても、圧延開始から目標板厚が得られるようになる。圧延機の出口には板厚計が設置され、これによる検出板厚と目標板厚との差に比例したフィードバック制御が行われる。これをモニターAGCと呼ぶ。

ロールギャップの変化 Δg による板厚変化 Δh は、張力などが変化しなければ、式(4)

$$\Delta h = \Delta g \cdot \frac{M}{M - \frac{dP}{dh}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

で表される。ここに M はミル剛性であり、 dP/dh は塑性曲線の傾きである。これからわかるように、冷間圧延のように荷重関数の傾きが大きいばあいにはロールギャップの板厚制御への効果が小さくなる。このような場合にはむしろ張力を操作して、塑性曲線の傾きを変化させた方が有効で

ある。熱間圧延ではロールギャップが、冷間タンデム圧延機の場合には、塑性曲線の傾きの比較的小さい前段ではロールギャップ制御が、傾きの大きい後段では張力制御がAGCに用いられる場合が多い。

ゲージメーターAGCの場合、ロールの偏芯や、ベアリングの非対称などによる圧延機側の要因による荷重変化が生じた場合は、ロールギャップ制御は板厚精度をかえって悪くしてしまう。このため、ゲインを小さくして、AGCの効果が十分得られない場合もある。これらの圧延機側の要因を機械構造の改造によって取り除いたり(キーレスベアリング)、油圧によるバックアップロールの偏芯を制御する方法が開発されている。

圧延直前の板厚を測定して、ロールギャップを制御するフィードフォワードAGCも実現している。また、タンデムミルの複数のスタンドの荷重の予測値と実測値の誤差の傾向から、ファジーロジックによってフィードフォワード制御する方法なども実用化されてきている。板厚測定も、接触式や、X線式の他に、レーザーの回折を用いた板速度計を用いたマスフロー方式も実用化されている。特に板速度計を用いた板厚測定は、時間遅れが比較的小ないため、モニターAGCに用いて効果を上げやすい。

圧延を開始するときの、ロールギャップの設定や、ロール速度の設定はミルセットアップと呼ばれるが、この精度は圧延開始から板厚を精度よく圧延し、圧延を安定して開始するために重要である。特に熱間圧延では、冷間圧延に比べて板厚が厚く、先端のオフゲージが歩留まりを大きく左右することになる。圧延荷重の推定精度は、これを構成する変形抵抗値 k 、圧延荷重関数 Q_p の精度に依存する。

$$P = k \cdot \sqrt{R' \cdot (h_1 - h_2)} \cdot Q_p \cdot w \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_p = Q_p(R', h_1, h_2, t_b, t_f, k)$$

熱間変形抵抗については、美坂、橋爪らが実験結果をまとめて、式(6)のような形を提案している。

$$k = \varepsilon^m \cdot \dot{\varepsilon}^n \cdot \exp\left(A + \frac{B}{T}\right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに ε は圧延歪み、 $\dot{\varepsilon}$ は歪み速度、 T は材料の絶対温度、 A 、 B は材料によって決まる常数である。ここでの圧延歪みは通常は当該スタンドでの歪みを用いるが、これはスタンド間で回復、再結晶が完了してしまうとして良いと考えられるためであるが、Ti、Nbなどの合金元素が添加された鋼の場合には、回復、再結晶が終了しない場合があり、歪みとして前のスタンドでの歪みを考慮する必要がある。近年製造され始めた炭素量の極端に少ない極低炭素鋼板の場合には、変態点が比較的高いため、熱間仕上げ圧延中の変態を考慮した変形抵抗が必要となる場合がある。

熱間変形抵抗の場合は特に材料の温度の精度も必要であり、近年では熱伝導方程式を差分で解くモデルなど比較的精度の高い温度推定式を組み込んでいる場合が多い。

冷間変形抵抗については、種々の提案があるが、式(7)の様に表すのが一般的である。

$$k = a \cdot (\varepsilon + b)^l \quad \dots\dots\dots (7)$$

a 、 b 、 l は材料によって決まる常数であるが、熱間圧延条件にも影響される。ここでの歪み ε は熱間圧延の場合と異なり、累積歪みを用いなければならない。冷間変形抵抗も温度歪み速度の影響があり、特に焼鈍後の調質圧延などの場合には考慮する必要があるが、通常の冷間圧延では考慮していない。

圧延荷重関数は圧延理論によって展開されているが、実機の制御に用いる場合には近似式が用いられる場合が多い。冷間圧延、熱間圧延の場合のSimsの近似式、熱間圧延の場合の志田の近似式などが一般的である。

3.2 プロフィール・形状制御技術

前述のように圧延機を構成する各要素は弾性体であり、圧延荷重によって弾性変形を引き起こす。このため、圧延材は中高の断面プロフィールになってしまう。また、圧延される前の断面プロフィールと圧延後の断面プロフィールが異なると、圧延歪みが板幅方向に分布を持つこととなり、伸びが幅方向の位置で異なる。この伸びの分布は残留歪みとなって、製品の平坦度に影響する。伸びが大きいところでは、圧延方向の圧縮の残留歪みが発生し、これによる応力が限界値を越えると座屈現象によって波うちを生ずる。これが平坦度(形状)不良であり、波うちの発生する板幅方向の位置によって、耳波、中伸び、クォーターバックルなどと呼ばれる。これらを防ぐために、研削時にロールに中高のクラウンを与える方法や、ロールの熱膨張を制御する方法などが試みられていた。その後、より高応答の制御手段を要求され、ワークロールショックに油圧装置を組み込んで逆曲げを与えるベンダーが取り入れられた。

このような方法によるプロフィール・形状制御の自動制御を実現するために定量的な検討が行われた。特に1970年代からはコンピューターが普及し、ロールの弾性変形を精密に解析する試みが行われた。しかしながら、これらの解析結果と実際のプロフィール変化とは一致せず、特に冷間圧延では実際のプロフィール変化は解析に比べて一桁小さい値となった。この理由を、プロフィールの変化によって生じる残留歪みすなわち張力分布が圧延荷重の分布に影響を与え、これがロールの変形に影響するフィードバック効果として説明された。(Fig.4参照) この効果を数値解析に組み入れて、プロフィール解析や、平坦度解析が行われ、種々の制御方法

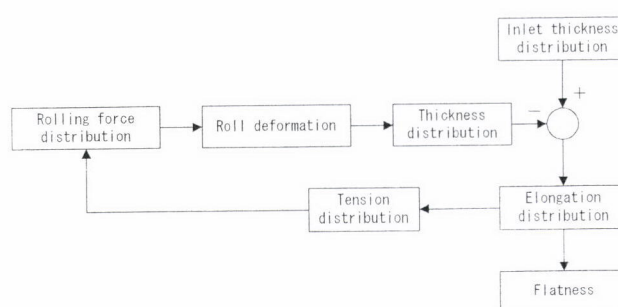


Fig.4. Diagram of tension feed back effect to thickness distribution.

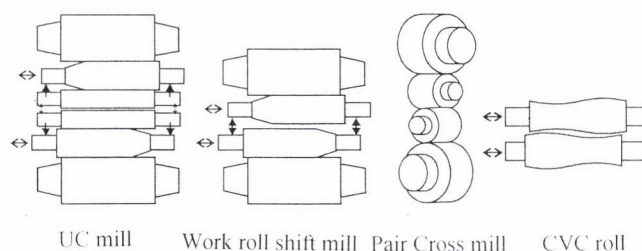


Fig.5. Profile and flatness control mills.

の制御効果が定量的に比較検討された。

Fig.5に実用化されているプロフィール形状制御方法を列挙する。

このような状況の下に、1975年前後にロールの弾性変形を安定させるために、中間ロールを軸方向に移動させる機構を備えたHCミルと呼ばれる6段ミルが開発され、広く熱間圧延機、冷間圧延機に採用された。また、板幅端部に発生する板厚の急峻な低下であるエッジドロップは、板幅中央部が平面歪みに近い状態であるのに対して、板幅端部の応力状態が平面応力であること、ロールの扁平変形が圧延荷重の直接与えられている部分(板と接している部分)と幅の外側のそうでない部分とで急峻に変化するため発生するものであるが、この制御には、ワークロール端部にテーパ状のプロフィールを設けて、このテーパ部分を板幅端部に重ねるような圧延が有効であることが明らかとなっている。この制御を板幅の違いに対応させるために、ワークロールを軸方向に移動させるワークロールシフト機構が導入されている。

熱間圧延の場合のプロフィール制御には、より大きな効果の制御手段が要求され、上記のロールの弾性変形を制御する方法では限界があった。この制御を実現したのが、ペアクロスミルと呼ばれる方法である。これはFig.5に示されるように、バックアップロールとワークロールを対にして、上下で同調中央部を支点にしてクロスさせるような配置をとる方法で、このクロスの角度を変えることによって、ロールギャップの幅方向分布を大きく変化させることができる。この原理は既に50年以上前に実験的に試みられているが、実機への適用に関しては、ロールに発生するスラスト

力や、クロスさせる機構などの問題を解決する必要がある、実現は1984年となった³⁾。この方法は、熱間圧延での強力なプロファイル制御の手段として、近年建設されるミルに多く採用されている。

局所的な形状不良は、上記の方法では制御不可能であり、局所的なロール冷却による熱膨張を利用する方法などが実用化している。

3.3 完全連続圧延技術

1970年代には日本において鉄鋼の大量生産技術が確立された。圧延技術ではその代表的なものに完全連続圧延技術がある。

3.3.1 冷間タンデム圧延機の完全連続技術

1コイル毎に圧延を完了するいわゆるバッチ圧延は、先端部をロールに噛み込ませる通板に時間を消費するばかりでなく、先端部後端部を圧延するためにロール表面に欠陥を生じやすく、製品の表面欠陥の原因になっていた。

これらを解決したのが完全連続圧延機で、1971年に日本で初めて実現している⁴⁾。この要素技術は①圧延に耐えうる圧延材の溶接接合技術、②圧延中に板厚を変更する走間板厚変更技術である。溶接接合技術は、フラッシュバット溶接と呼ばれる、直接通電による突き合わせ溶接で実現している。

走間板厚変更技術は、ロールギャップの変更とロール速度の変更を各スタンドでタイミング良く行う必要があり、板厚変更点のトラッキング技術と、セットアップモデルの高精度技術の組み合わせで実現している。近年主駆動モーターがインバーターによる交流化によって速度制御の精度が飛躍的に向上し、走間板厚変更点前後の、板厚の許容範囲からずれた部分の長さ、オフゲージ長さは数m以内に短縮されている。

冷間タンデム圧延機はその後、前工程である酸洗ラインとの連結が実現し、コイルハンドリングや、溶接などの共通部分の省略によって、省力化、高生産性が得られている。

更に冷間圧延の後工程である連続焼鈍との連結も実現している。

3.3.3 熱間タンデム圧延機の完全連続化

薄鋼板の熱間圧延では、先後端で板厚、板幅、温度、形状・プロファイルなどが非定常となりやすい。特に1.5mm以下の極薄熱延鋼板で発生しやすい、通板・尻抜け時の詰まり、絞り、破断などのトラブルはワークロールの異常組み替えを必要とし、生産能率、歩留まりの低下を招いていた。これらを解決する一つの技術が熱間タンデム圧延機の完全連続化技術である。これは1995年秋に操業を開始したばかりの技術であるため、その詳細は明らかではないが、①粗バーの温度確保を兼ねたコイルボックス装置、②粗バーの接合技術、③走間板厚変更技術、④高速切断技術、⑤高速巻き取り技術などが主要技術である。Fig.6にこれらの概略を示す。約10本のコイルを連続的に接合しながら圧延する計画であり、最初の1本目のみは加速による非定常部が生じるが、2本目以降はほぼ1000m/分の定常圧延が実現できるとしている。このため、ダウンコイラーでの高速切断、高速安定巻き取り技術が必要である。

この技術は既存のバッチミルでは難しかった1mm前後の板厚の製品を安定して圧延できるのみではなく、中厚鋼板への適用によっても、歩留まり、生産能率の向上が期待できる魅力的な技術と考えられている。

3.4 その他の主な圧延技術

3.4.1 小径ワークロール圧延機

変形抵抗の高い材料や、板厚の薄い材料を圧延すると、圧延荷重が非常に大きくなって、数%の圧下率しか得られない場合がある。このような場合にはワークロール径の小さな圧延機の適用が効率的である。しかしながら、小径のワークロールは曲げ剛性が小さくなるため、水平方向に支持をする機構を持つ必要がある。これを実現したのがクラスタータイプの圧延機であり、また、MKW、FFC、UC4といった4段圧延機を改造した形の圧延機である。これらのロール配列をFig.7に示す。

クラスタータイプの圧延機を本格的な圧延機として最初に実用化したのがセンジミアミルである。これはロール配

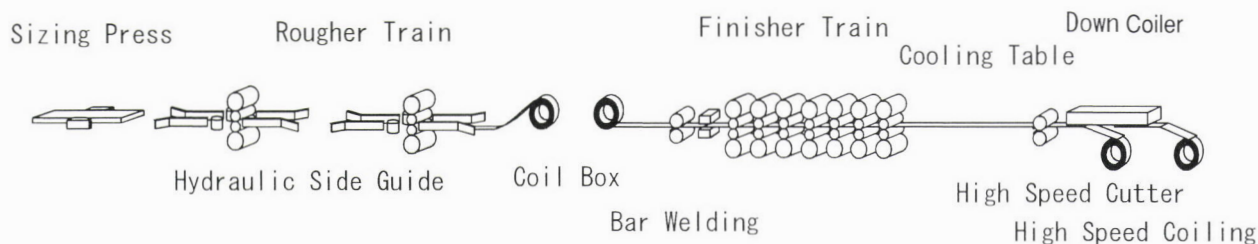


Fig.6. Schematic view of fully continuous hot rolling mill.

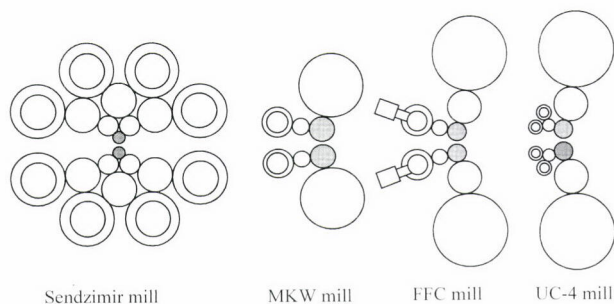


Fig.7. Several types of small work roll mill.

列を、上下とも1—2—3（—4）の12または20段としている。最後方の3または4本のロールは胴長方向に分割したベアリング構造をしており、各分割の間で剛性の高いハウジングからベアリング軸を支える構造をしている。この支え部分に偏芯機構を組み込んでベアリング軸をたわませて形状制御を行ったり、中間ロールにテーパを施してこれを軸方向にシフトして形状制御を行っている。

もう一方の形式のミルは既存の4段圧延機を改造して組み込む形式で垂直方向の支持は従来の4段圧延機と同様であり、水平方向の支えを新しい機構で行うものである。FFCミルは他のミルと異なり、水平方向の支持に油圧機構を組み込んで積極的に水平曲げを形状制御に用いている。

小径ワークロールによる圧延は、圧延荷重を小さくできるだけでなく、ロールギャップへの潤滑油の導入量を大径の場合に比べて少なくでき、圧延製品に高い光沢度を与えることが可能である。

3.4.2 幅圧延技術

近年薄鋼板用のスラブはほとんど連続鋳造によって鋳造されている。一般的にはスラブの幅は製品幅に近い幅を要求され、連続鋳造で幅を連続的に変える技術などが開発されている。しかしながら、幅変更中に非定常な幅のスラブができてしまうこと、一回の幅変更量に制限があることなど問題点が大きかった。

また、粗圧延機列での幅圧延も油圧圧下などが導入されて動的な制御が行われている。粗圧延機列での幅は

$$W = W_0 + \Delta W_S - \Delta W_E + \Delta W_R \quad \dots\dots\dots (8)$$

で表される。ここには W_0 はスラブの幅、 ΔW_S は板厚圧下による幅拡がり量、 ΔW_E は幅圧延機による幅圧下量、 ΔW_R は幅圧下を行うことによって生じる板幅端部付近の板厚増加（ドッグボーン形状）を続く板厚圧下で圧下する際に戻ってしまう幅変化量である。このドッグボーンの形状は、幅圧下ロールと材料の接触長さが短いと局所的な形状になり、幅戻りの率が大きくなる。また、ドッグボーンを圧延すると後端部にフィッシュテールと呼ばれる形状が形成され、

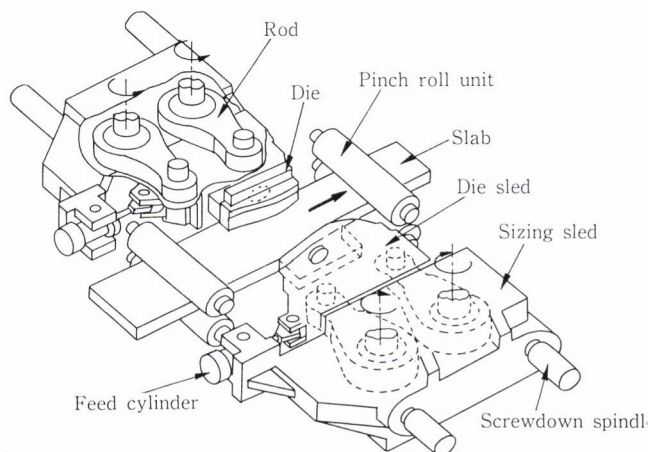


Fig.8. Schematic view of sizing press.

歩留まりの低減をまねくため、幅圧下量を制限している。このため、最大の幅圧下量は100～200mm程度である場合が多い。

これらの問題を解決する技術が幅をプレスで圧下する、サイジングプレスまたは幅圧下プレスと呼ばれる技術である⁵⁾。この概略をFig.8に示す。スラブの幅を間欠的に部分的に圧下していく構造で、油圧駆動と電動機駆動の装置が開発されている。圧延機による幅圧下に比べて接触長さを長くすることができ、ドッグボーンの発生を小さく押さえた幅圧下ができるため、フィッシュテールの発生を些少にして350mm程度の幅圧下を実現している。この技術によれば、連続鋳造での幅変更の頻度を大幅に少なくできる幅集約が実現できるだけでなく、製品幅よりも広いスラブを鋳造できるため、連続鋳造の能率の向上も期待できる。

板幅は粗圧延機のみでなく仕上げ圧延機でも変化することが確認されている。これは主としてスタンド間の張力の変化によって幅がネッキングするためであると考えられており、張力制御をになっているルーパ制御のロールギャップ制御との非干渉化や、軽量のルーパを油圧で制御する装置などの開発によって解決されつつある。

3.4.3 スケジュールフリー圧延技術

熱間圧延機、冷間圧延機でのコイルの圧延順はさまざまな制約で決められている。典型的な制約が板幅制約である。熱間圧延の場合Fig.9のような幅の組み合わせに従うスケジュールが取られる。この図の形からコフィン（棺桶）スケジュールと呼ばれる。この制約は基本的にはワークロールの摩耗による障害をさけるための制約である。Fig.10-aにワークロールの摩耗の例を示す。ほぼ板幅に応じた階段状の摩耗が生じている。これを解決する方法の一つにワークロールを軸方向に定期的にシフトし、ロールと材料に接触する領域を均一化する方法がある。この適用例をFig.10-bに示す。

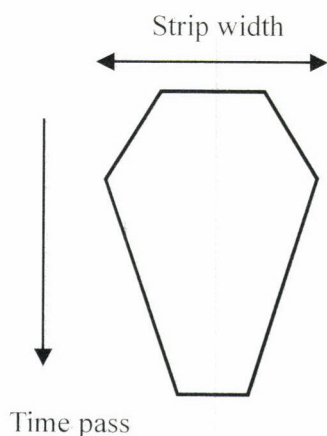
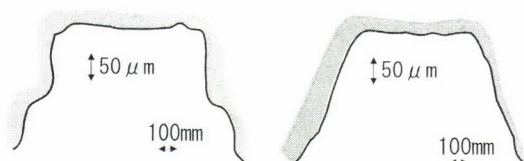


Fig.9. Schematic width schedule for hot rolling. (Coffin schedule)



a : Without work roll shift b : With work roll shift

Fig.10. Examples of work roll wear.

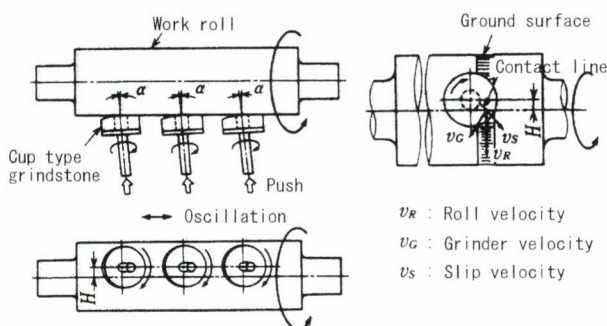


Fig.11. Schematic view of Online Roll Grinder.

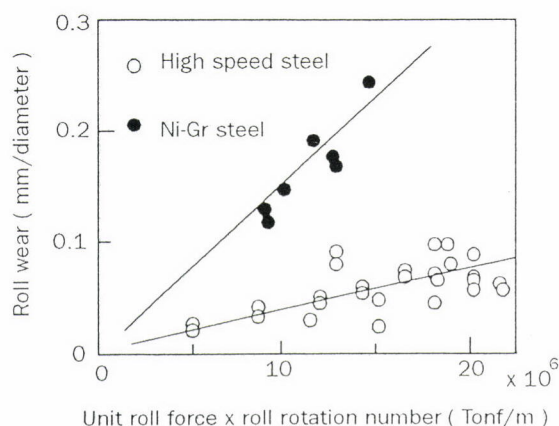


Fig.12. Comparison of work roll wear.

また、より積極的にロールを圧延機に組み込んだまま研削する技術も開発されている。オンラインロールグラインダー (ORG) と呼ばれる技術で、その概要をFig.11に示す⁷⁾。この技術とオンラインでのロールのプロファイルの計測技術を組み合わせることによって、任意のロールプロファイルに研削する技術も開発されている。

また、熱間圧延においてより摩耗の少ない材質のロールが用いられるようになってきている。この材質としてバナジウム、タングステン含有する高速工具鋼 (ハイス鋼) が用いられる。Fig.12に従来のニッケルグレンロールとの摩耗の比較を示すが、約1/4に抑えられており、ロール研削当たりの圧延量も5~6倍に伸ばすことができている。

現在スケジュールフリーが実現されていると言っても、極、限られた範囲での制約緩和でしかなく、板幅以外にもミルセットアップの精度や、冷間圧延の場合の溶接強度、板厚変更可能範囲などによる板厚制約や、圧延荷重の変化の制約による材質制約も存在する。

4 まとめ

近年の薄板圧延技術を中心に解説した。比較的古い技術にもかかわらず、スケジュールフリーや幅、曲がり、通板不安定の問題などまだ解決していないと考えられる技術も多く残されている。更に生産性の競争を強いられるであろう状況下で、日本の鉄鋼業の存続はこれらの未解決な問題の解決がキーポイントになる可能性もある。長期の取り組みにもかかわらず解決されていない諸問題に対しては、地道な取り組みと同時に、既存の考え方にとらわれずに、実現象をもう一度見直す取り組みが必要ではないかと考えられる。今後の若い研究者、技術者の活躍に期待したい。

引用文献

- 1) William L. Roberts : Cold Rolling of Steel, Marcel Dekker, INC, (1978)
- 2) 板圧延の理論と実際、特別報告書No.36, 日本鉄鋼協会 (1984)
- 3) H.Matsumoto, H.Tsukamoto, S.Hatae and H.Hino : Development of a Pair Cross Rolling Mill for Crown Control of Hot Strip, Advanced Technology of Plasticity, Vol. II, (1984), p.1372
- 4) 一丸隆六郎, 比企野賢三 : 日本鋼管技報, Vol.56, (1972), p.273
- 5) 田添信広, 片山忠, 塩崎宏行, 大谷内司, 横山孝廣 : 石川島播磨重工業技報, 30-1, (1990), p.18

(1996年3月12日受付)