

アルミニウム圧延機の現状

Recent Aluminium Rolling Mill Design

□ 誠 寛 株式会社アイメック 第二設計部 課長
 佐 藤 一 幸 技術開発本部総合開発センター機械システム開発部 課長
 吉 村 和 幸 株式会社アイメック 第二設計部 課長

当社の国内アルミニウム熱間圧延機のシェアは約 74%に達しトップであり、アルミニウムの冷間圧延機、箔圧延機を含めても世界でもシェア 1, 2 位を競っている。本稿では、このアルミニウム用の熱間圧延機、冷間圧延機、箔圧延機について、最近の設備の内容を紹介する。併せて当社としての特徴である TP ロール (Taper-piston roll)、自動板形状制御システム (SHEETFLAT®)、自動板厚制御システム (AGC) および新しい設備には必要不可欠な、ミル設定計算技術の概要について述べる。

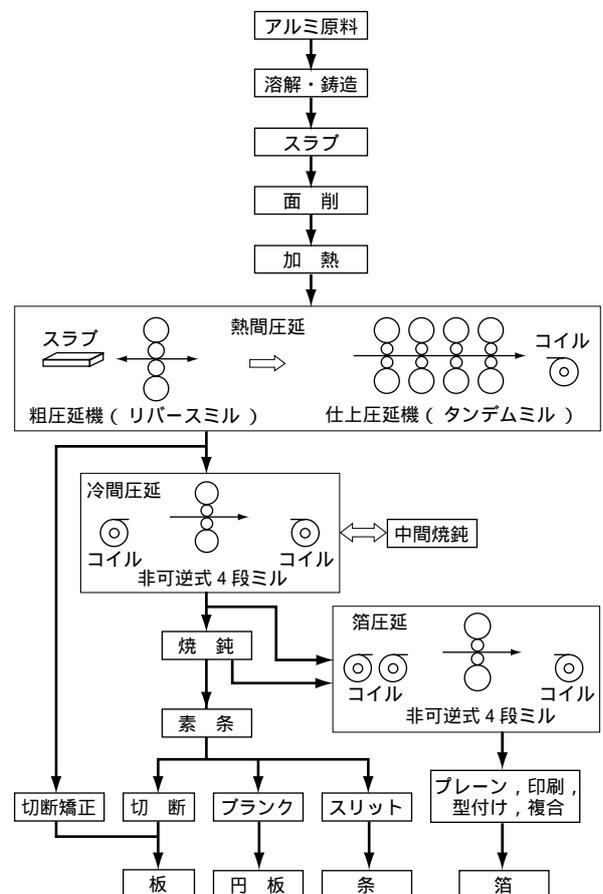
IHI has the top market share of 74% for building aluminum hot rolling mills in Japan, and is a leading aluminium rolling mill builder worldwide, including cold and foil mills. Recent construction of aluminium rolling mills for hot, cold, and foil products are described. The rolling mills have been designed to provide rolled products with superior quality including flatness and thickness. Taper-piston rolls, automatic flatness control systems, and automatic gauge controls have been employed for the mills. The computational mill setup technique essential for the control systems is also described.

1. 緒 言

非鉄材料のうち、アルミニウム生産量は汎用金属材料として鉄に次ぐ第 2 の地位を占める。当社のアルミニウム用の熱間圧延機、冷間圧延機、箔圧延機の最近の設備概要と各ラインの特徴を紹介するとともに、当社の特徴である板形状制御技術に関連する TP ロール (Taper-piston roll)、自動板形状制御システムの SHEETFLAT®, 自動板厚制御システム (AGC) および ミル設定計算技術の概要について述べる。

2. アルミニウムの圧延技術

アルミニウム圧延品は、缶、包装、家庭用品、屋根、ビルの内装・外装、冷凍・冷蔵設備、家電製品、航空機、地下鉄、新幹線の車両など、あらゆるところで利用され日常生活には欠かせない。第 1 図にアルミニウム圧延品の製造工程を示す。アルミニウムの圧延技術は主として飲用缶用のアルミニウム (キャン材) の量的、質的要求に対応することによって発展してきた⁽¹⁾。圧延設備については熱間圧延機、冷間圧延機とも多スタンド化、広幅化、高速化が進められている。



第 1 図 アルミニウム圧延品の製造工程
 Fig. 1 Aluminium rolling process

3. アルミニウム圧延機のシェア

当社のアルミニウム圧延機のシェアは、国内のアルミニウム熱間圧延機では約 74%，世界主要 3 社におけるタンデムラインのシェアでは約 40%に達する。アルミニウムの冷間、箔圧延機の国内シェアは約 54%，アジア近隣では約 12%となっているが徐々に増加しており、トータルでも世界シェア 1, 2 位を競っている (第 2 図)。

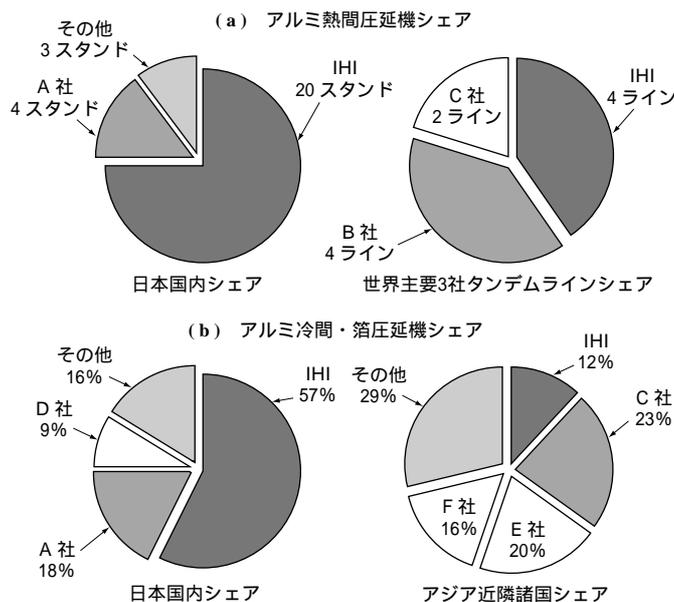
また、当社は熱間圧延機、冷間圧延機、箔圧延機を納入している世界でも数少ない設備メーカーである。

4. 熱間、冷間、箔圧延機の各ラインの構成と特徴

4.1 熱間圧延機

アルミニウムの熱間圧延では、粗圧延機に投入されるスラブ (鋳塊) はアルミニウム地金を溶解炉で所定の合金に調整し鋳造機を経て成型される。

第 3 図にアルミニウム熱間圧延設備の概要を示す。熱間仕上圧延機にはシングル型とタンデム型がある。量産ライ



第 2 図 アルミニウム圧延機シェア
Fig. 2 IHI's market share of aluminum rolling mills

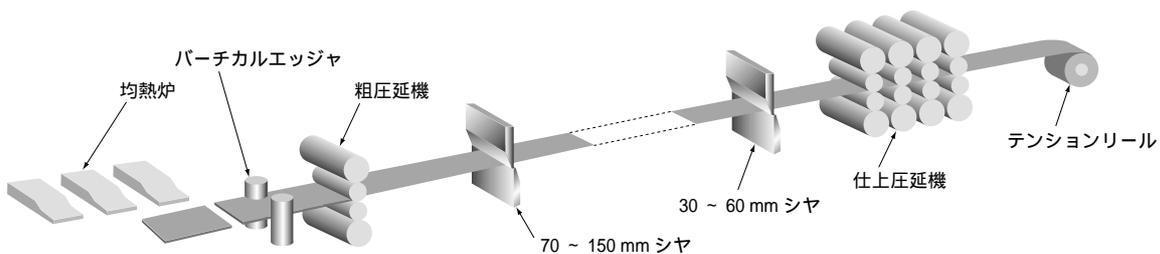
ンではタンデム型が用いられるので、ラインとしては粗圧延機 1 基および仕上圧延機 3 ~ 5 基のスタンド構成となる⁽²⁾。スラブは面削のあと加熱され、可逆式粗圧延機に送られる。粗圧延機はプレート圧延ができるように、コイル製品幅よりも長いロール胴長をもった圧延機となっている。また、粗圧延機に投入されるスラブの厚みは 450 ~ 640 mm と厚いのでロール開度 650 mm が必要となる。それに加え、アルミニウムの熱間圧延に特有のロールコーティング対策を講じたブラシロールおよびクーラントゾーンコントロールノズルが取り付けなど、設備として特徴がある。

粗圧延機の入側にはパーティカルエッジが設置されている。これによって、仕上圧延工程でエッジ割れの原因となる粗圧延工程でのエッジ端部の変形を補正する目的で幅圧下を行う。粗圧延機で厚さ 450 ~ 640 mm のスラブを多数の往復圧延パスによって 100 mm 近くの厚さまで圧延すると、アリゲータ (わに口) 現象が生じ、後工程で支障をきたすので、先後端を切断する必要がある。このため粗圧延機と仕上圧延機の間には 70 ~ 150 mm 厚さのプレートの先後端を切断するためのシヤを設置している。さらに仕上圧延機に投入される厚さ 30 ~ 60 mm のプレートの先端を切断する目的で第 2 のシヤが設置されている。

仕上圧延機は粗圧延機のような大きなロール開度は不要であるが、ロールコーティング対策としてブラシロールやクーラントヘッダおよび通板を安定させるために、油圧式サイドガイドが取り付けられている。また、出側に設置したサイドトリマで巻取機の前で両エッジをトリミングする。

4.2 冷間圧延機

熱間圧延機で生産されたアルミニウムは、冷間圧延機によって最終製品の目的に合った板厚まで圧延され出荷される。アルミニウム圧延製品はそれらの目的によって材質も多岐にわたり圧延条件も大きく異なる。このような多品種、



第 3 図 アルミニウム熱間圧延設備概要
Fig. 3 General arrangement of aluminum hot rolling mill line

中量生産に対しては非可逆式シングルスタンド冷間圧延機（第4図）が適している。ただし、キャン材などの大量に生産される材料を圧延する場合は、タンデム圧延機が適用されている。

冷間圧延機の特徴的な装置を次に紹介する。

4.2.1 スプール搬送装置、コイル搬送装置

アルミニウムは剛性が小さいため、通常1～2mmの板厚からスプールに巻き取られる。このための空のスプールを巻取装置へ挿入する装置と巻戻し機から取り出す装置が設置されている。

また、コイルは表面の傷を嫌うためパレットを用いて搬送される。

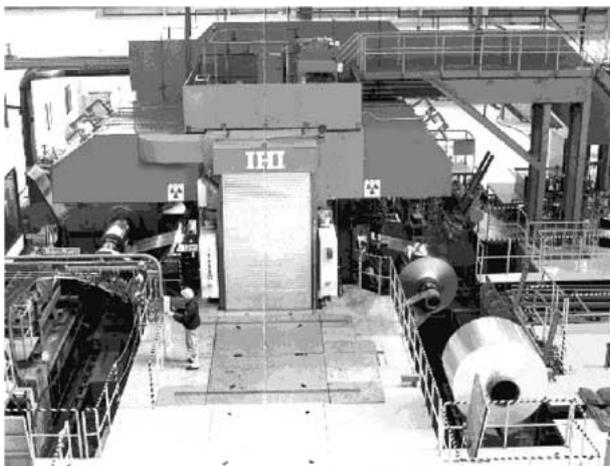
4.2.2 ロール冷却装置

アルミニウム冷間圧延では、ロール冷却は圧延用潤滑油と同一の低粘性ミネラル油を使用する。これは、板表面の水分残留による表面品質の劣化（水腐食）を防止するためである。しかし、低粘性ミネラル油では熱伝達率が水に比べ小さく冷却効果は劣る。近年では、ソリブル圧延油（5%程度のエマルジョン油）を使用する圧延機も出現している。

また、低粘性ミネラル油では引火点、発火点ともに低く火災発生の懸念から圧延速度は約2000m/minが限界とされている。

4.3 箔圧延機

アルミニウム箔（以下、アルミ箔）の厚さはJISでは0.2mm以下と規定されているが、最大の用途である包装業界では0.02mm以下が大半である。タバコの包装用は0.006mm厚さが使用されている。冷間圧延機から箔圧延機に供給される材料は箔地と呼ばれ、厚さは0.30～0.65mmが一般的である。その素材は箔圧延機によって、1パスごと



第4図 アルミニウム冷間圧延機
Fig. 4 Aluminum cold rolling mill

にほぼ50%の圧下を繰り返して薄くする。極薄箔（0.005～0.007mm）では圧延前に2枚重ねて（重合）圧延される。

箔圧延機は非逆転式4段圧延機が適用され、その箔厚と生産能力（圧延時間）から粗圧延機、中間圧延機および仕上げ圧延機から構成される。また、設備投資費用などから、1台で粗圧延から仕上げ圧延まで行う兼用圧延機の設置も可能である。箔圧延機の機械的な特徴としては、製品の薄さに比例して各設備の機械加工精度に対する要求が非常に高いことが挙げられる。それに加え、製品の表面光沢、ピンホールの発生率が製品品質の良否を決定づけることになるため、製品と接するロールは損失抵抗を可能な限り小さくするなどの対策が施されている。また、アルミ箔くずなどの落下による2次アルミ箔破断を防止するため、圧延機内清掃が容易に行えるような工夫もされている。

5. アルミニウム圧延機の制御技術

5.1 板厚制御

板厚制御は熱間圧延機、冷間圧延機では鉄鋼圧延設備と同様に次の方法などから板厚や材質にあった制御方法を選択する。

- (1) 出側板厚の変動監視で板厚を制御するフィードバック制御
- (2) 側板厚の偏差による出側板厚の変動を取り除くフィードフォワード制御
- (3) 材質の微妙な変化に対応するゲージメータ式制御
- (4) すべて計算値を用いて制御する絶対値制御
- (5) 入側と出側の移動体積量を一定に確保するマスフロ-板厚制御
- (6) 圧延ロールの偏心による荷重変動をフーリエ解析しフィードフォワード制御

しかし、箔圧延機では熱間、冷間圧延機のように材料に加える力を変動させ、圧延ロールのすき間を一定に保つ方法ではその加えられた（減らされた）力はほとんどがロール表面の弾性変形となり、実際のロール間のすき間（板厚）は変化しない。そこで、箔圧延機では主に張力を変化させ見掛けの材料の硬さを変更し、板厚を制御する張力AGC（Automatic Gauge Control）や、速度変化によって発生する圧延ロールと材料の油膜厚さを変化させることでロールと材料間の摩擦係数を変動させ板厚を確保する速度AGCが主に採用される。

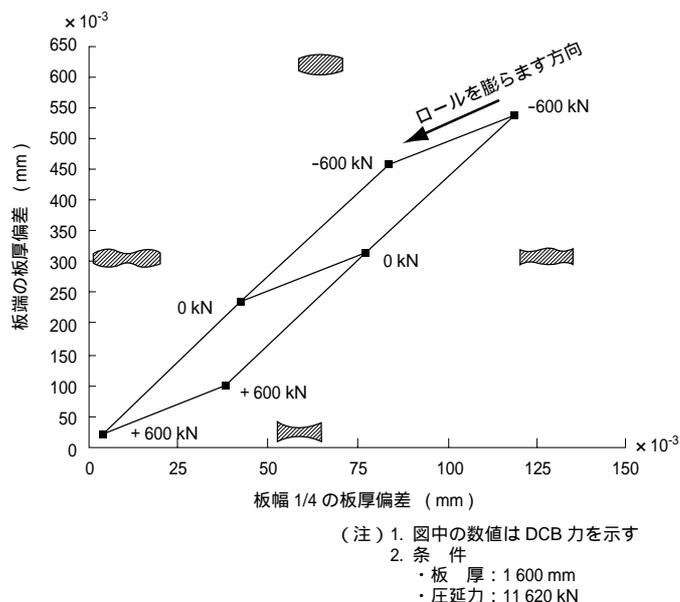
5.2 板形状制御

アルミニウムの熱間圧延では、圧延荷重の小さい純アル

ミニウム系から硬質な合金アルミニウム系まで、圧延荷重の比率が1対10以上にもなる。この荷重の変化に応じて生ずる圧延ロールの弾性変形の範囲も広がるので、これに対応できる広範囲の板形状制御能力が求められる。この広範囲な板形状制御能力を得るため当社独自の方式として、熱間圧延機ではアーバとスリーブおよびテーパピストンで構成されたTPロール(第5図)を控えロールとして使用し、そのテーパピストンの位置を変更することで作業ロールのプロファイルを変更する制御が用いられる。

冷間圧延機では控えロールに油密室を設けた可変クラウンロールと作業ロールに四つの軸箱を配置し4点でロールに曲げを与えるダブルショックベンディング(DCB)がある。通常のシングルショックベンディング方式はベンディング油圧が使用中に下限または上限に達してしまい、ベンディング容量が必要量に対して不足することが起きやすい。これに対して、ダブルショックベンディング方式はロールネック、軸受、軸箱の強度バランスをとるので、限られたスペースのもとで作業ロールベンディング能力を強化する手段として有効である⁽³⁾。一方、作業ロールベンディングは板幅中央への効きが十分でない場合があり、これを補う目的で、控えロール中央でロールを膨らます可変クラウンロール(例えばVCロール⁽⁴⁾)と組み合わせることが有効である。第6図にφ480/φ1220×1950mmの4段圧延機において膨張量0.32mmの可変クラウンロールとDCBを組み合わせ性能計算した例を示す。

箔圧延機の場合には、ロールすき間を直接制御する方法では板厚に比べ制御量が大きくなり扱いにくく、また、局所的な形状不良も発生しやすい。そこで当社では作業ロールの熱膨張量を変化させるクーラント制御方法を主と

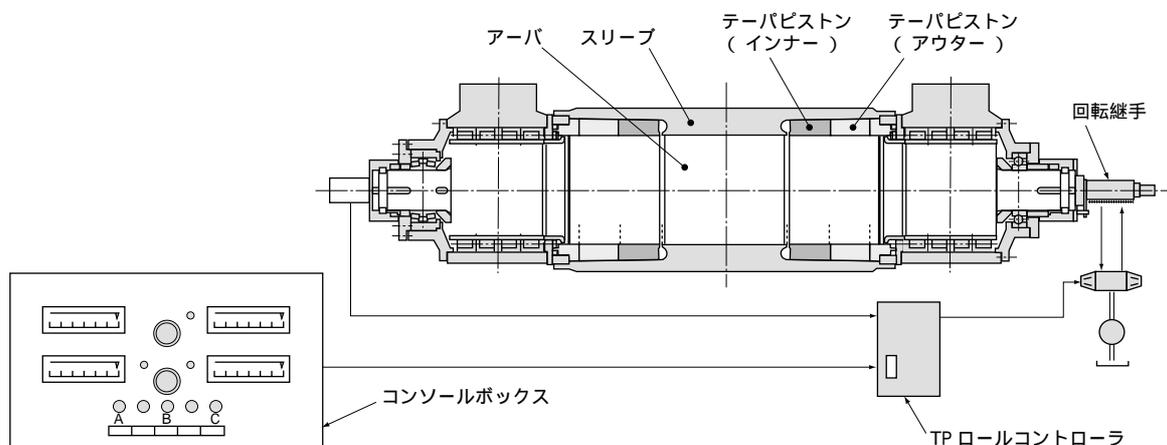


第6図 「VC+DCB」の制御特性
Fig. 6 Control characteristic of VC roll with DCB

して採用している。これは、局部的に発生している形状不良部分に相当する作業ロール位置に温度の異なるクーラントを噴射し熱膨張量を変化させることで形状不良部を修正する方法である。また、これらの制御に加えて形状検出ロール(SHAPE SENSOR ROLL)と組み合わせたシステム(SHEETFLAT®)として提供している。この制御装置は日本国内において冷間圧延、箔圧延の分野で約95%のシェアをもっている。

5.3 ミル設定計算

アルミニウム圧延機は多品種生産機械であることから材質、板サイズごとの広い範囲でのモデル化は困難であるとされ、その計算モデルを理論的に作る努力も敬遠されていた。当社では冷間圧延機向けに世界に先駆け1977年に



第5図 TPロール
Fig. 5 Taper-piston roll

OPMIC-A (Optimum Mill Computer Control system for Aluminum rolling) として開発実用化した。また、箔圧延機では 1995 年に世界で初めて圧延現象をモデル化したミルセットアップシステム (Mill Master-F) を実用化した⁽⁵⁾。さらに、冷間圧延機ミルセットアップシステムの改良型を 2003 年度中の実用化を目指して開発中 (Mill Master-C) である。

ミル設定計算は、変形抵抗モデル、圧延荷重モデル、圧延トルクモデル、摩擦係数モデル、先進率・後進率モデル、温度モデル、コイル巻取りモデルの各数式モデルと、これらによる設定で圧延を行った結果を反映させる適応学習モデルで構成されており、熟練オペレータの経験に頼らない圧延パススケジュールの構築を可能とした。

6. 結 言

非鉄圧延機の現状についてアルミニウムの圧延機を中心に最近の実績とその機能、特徴について述べた。アルミニウム製品の需要は社会の近代化とともに増大化傾向があるとされている。その需要と相まって素材に対する製品品質の要求度も高まってきた。その要求を満たすため、われわれ装置産業も自動板形状制御システム (SHEETFLAT®)、

自動板厚制御システム (AGC)、自動セットアップシステム (Mill Master シリーズ) などを開発し、設備の付加価値を高めてきた。

今後は本稿で述べた設備、機能のさらなる向上を図り、ますます厳しくなる客先のニーズにこたえていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 社団法人軽金属協会：アルミニウム技術便覧新版 1996年 p. 7
- (2) 本城恒一，松村英夫，森田進一，三代川 勝：熱間圧延 軽金属 51 2001年4月 pp. 253 - 261
- (3) 本城 ほか：ダブルショックワークロールベンディングの機能と効果 石川島播磨技報 第 21 巻 第 5 号 1981年9月 pp. 457 - 462
- (4) 益居 ほか：可変クラウンロールを有する圧延機の形状制御特性 塑性と加工 第 31 巻 第 350 号 1990年 pp. 515 - 521
- (5) 鵜沼 ほか：アルミニウム冷間圧延機の計算機制御システム：OPMIC-A の開発 石川島播磨技報 第 17 巻 第 5 号 1977年9月 pp. 505 - 514