

非鉄材料用圧延機とそのコア技術

Characteristics and Line-up of IHI's Non-Ferrous Rolling Mills

中山 勝巳	IHI メタルテック株式会社	管理部	部長
口 誠 寛	IHI メタルテック株式会社	技術部	次長
小川 宗	IHI メタルテック株式会社	技術部	部長代理
松澤 司	IHI メタルテック株式会社	技術部	課長
佐藤 一幸	IHI メタルテック株式会社	品質・技術サービス部	部長

IHI グループでは、鉄鋼向け圧延機とともに、アルミニウムや伸銅板などの非鉄材料向け圧延機的设计・製作を行っており、国内外に多数の納入実績をもつ。非鉄材料用圧延機は、生産される材料の品種やサイズが多岐にわたり、鉄鋼用圧延機にはない特長も備える。工業材料の多様化に伴い、今後も非鉄材料向け圧延機の需要はますます拡大するものと予想される。本稿では、IHI メタルテック株式会社のアルミニウムおよび伸銅板用圧延機のラインナップを紹介するとともに、その技術的特長について解説する。

As well as steel mills, IHI also supplies non-ferrous rolling mills for aluminum and copper alloys. Due to many kinds, grades, and sizes of non-ferrous material being used in industry, diverse requirements exist for non-ferrous rolling mills, which have unique characteristics unlike those of steel mills. It is expected that the demand for non-ferrous rolling mills will increase due to the expansion of the use of non-ferrous materials in industry. This paper provides an outline of rolling mills for aluminum and copper alloy and describes their characteristics.

1. 緒 言

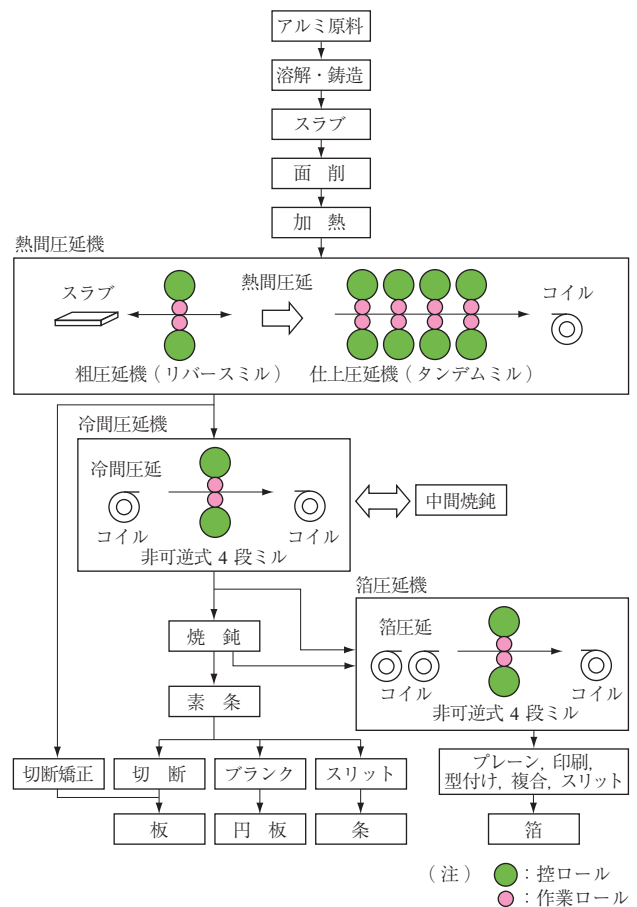
近年、自動車産業や電機・電子機器産業の発展によって、アルミニウムや銅などの非鉄金属材料の需要が急速に伸びており、生産される材料の品種、サイズ、寸法精度、品質に対する要求も年々多様化してきている。このため、非鉄金属材料の薄板や箔を生産するために欠かせない非鉄金属材料用圧延機に対するニーズや要求仕様も増加、多様化してきている。IHI メタルテック株式会社 (IHIMT) はこれらのニーズに応え、アルミニウム用の熱間圧延機、冷間圧延機、箔圧延機や、伸銅板用の圧延機、箔圧延機を一貫して設計・製作して供給している。

本稿では、IHIMT の非鉄金属材料用圧延機のラインナップを紹介し、そのコア技術について解説する。

2. アルミニウム用圧延機

アルミニウム圧延品は、厚いものは鉄道車両や航空機などの構造材に、薄いものはアルミ缶やアルミ箔といった包装材料に使用され、日常生活には欠かせない材料になっている。

第1図にアルミニウム圧延品の製造工程を示す。圧延設備としては、熱間圧延機、冷間圧延機、箔圧延機の

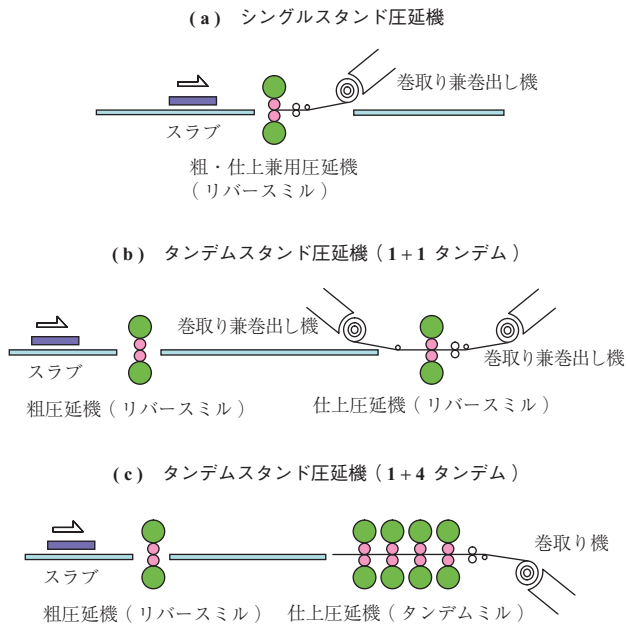


第1図 アルミニウム圧延品の製造工程
Fig. 1 Aluminum rolling process

3種類に大別される。通常、圧延は上下一対の作業ロールの間に荷重を加えながら材料を通すことによって行われる。圧延には高荷重が付与され、作業ロールがたわんで変形することによって、圧延される板の形状も乱れる。このため、作業ロールのたわみを抑制するための控ロールが上下各作業ロールに対し、1本ないし複数本配置される。

2.1 熱間圧延機

第2図にアルミニウム熱間圧延機の構成例を示す。生産量に応じて、圧延機の構成が変わってくる。多品種少量生産にはシングルスタンド圧延機(第3図-(a))、大量生産にはタンデムスタンド圧延機(第3図-(b))となる。最近では、初期投資を抑え、シングル型で操業を開始し、需要の増加とともに圧延機を増設し、タンデムスタンド圧延機



第2図 アルミニウム熱間圧延機の構成例
 Fig. 2 Typical arrangement of aluminum hot rolling mill

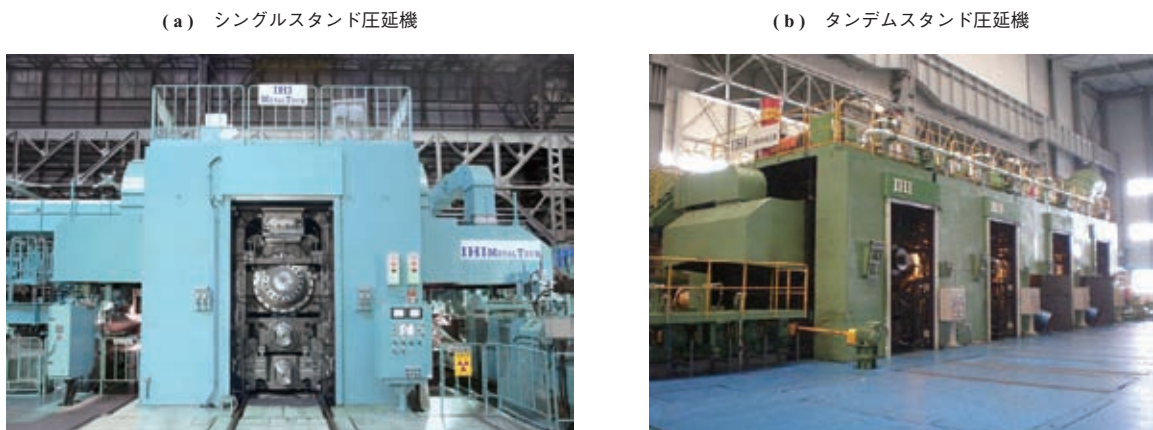
へ移行するケースが目立ってきている。IHIMTでは、豊富な経験を生かし、このような改造・増設への対応も行っている。

アルミニウム用の熱間圧延機では、圧延作業ロール表面にアルミ粉が付着し、圧延板表面品質に影響を及ぼすロールコーティングの問題がある。この対策としてブラシロールが配置されているなど、アルミニウム圧延機独特の機構が備わっている。IHIMTでは長年の経験に基づき、これら機構の最適化を図ることによって、圧延材の高品質化に貢献している。

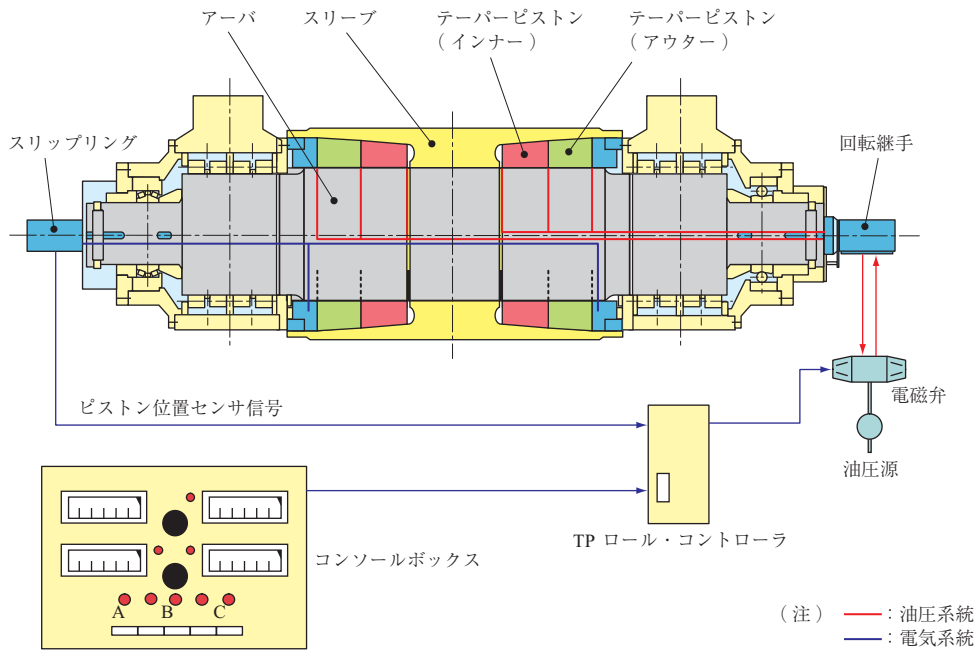
また、アルミニウムの熱間圧延では、軟質の純アルミニウム系から硬質な合金アルミニウム系まで、圧延荷重の比率が1対10以上にもなる。この圧延荷重の変化に応じて生ずる圧延ロールの弾性変形の範囲も広がるので、これに対応できる広範囲の板形状制御能力が求められる。通常、上下作業ロール間の間げきの胴長にわたる分布を変化させることで板形状を制御する。このため、①作業ロールを強制的に曲げる作業ロールベンディング②ロールの熱膨張分布を変化させる作業ロールのゾーン冷却、といった方法が一般的に用いられている。

これらの方法に加え、IHIMT独自の技術としてTPロール(第4図)を開発⁽¹⁾し、アルミニウム熱間圧延機の控ロールに適用している。ロール内部に装てんされたテーパピストンの位置をロール端部から油圧を加えて変更することによって、ロール外周の形状を変化させて控ロールと作業ロールの接触範囲を変化させ、作業ロールのベンディングによるプロファイル変化量を拡大させることができる。これによって、広範囲の荷重条件下でも良好な圧延板形状を得ることができる。

しかし、最近では、圧延材料のさらなる広幅化および



第3図 アルミニウム熱間圧延機
 Fig. 3 Aluminum hot rolling mill



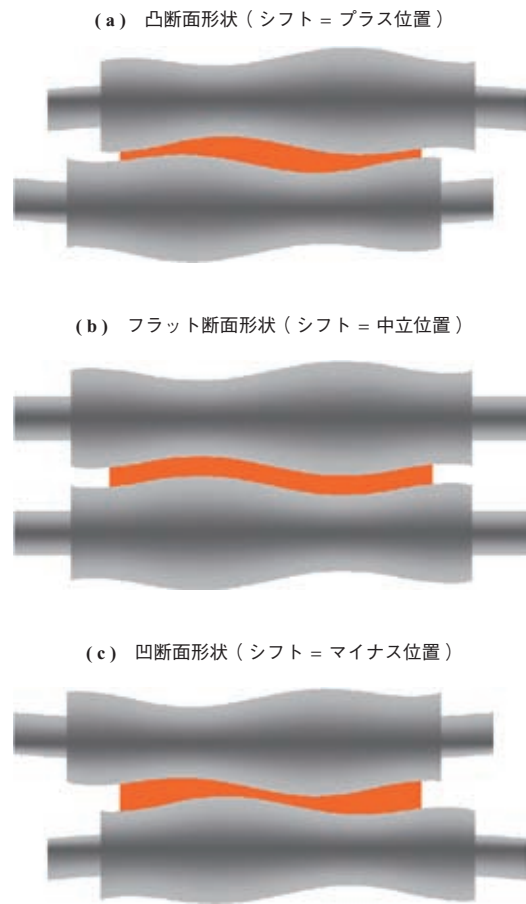
第 4 図 TP ロール
Fig. 4 Taper-piston roll

硬質（高荷重）化によって、TP ロールの能力以上の性能を要求されるケースがでてきている。このような広幅高荷重圧延機に対して、IHIMT では、鉄鋼用圧延機向けに開発し、実績のある作業ロールシフト機構を備えた CNP® (Combined Numerical Profile) ミル⁽²⁾ の適用を図っている。第 5 図に作業ロールシフトによる圧延板形状制御を示す。特殊なロールプロファイルを付与した作業ロールをロール胴長方向にシフトさせることによって、上下作業ロール間の間げき分布を変化させ、板クラウンおよび板の平坦度を制御することができる。この特殊ロールプロファイルは、生産品種とその生産量の比率に基づいた計算によって決定される。

2.2 冷間圧延機

熱間圧延機で圧延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、用途によって材質も多岐にわたるため、冷間圧延は多品種少（中）量生産に適した、非逆転式シングルスタンド圧延機（第 6 図）を採用する人が多い。最近では、生産量増加を狙ってシングルスタンド圧延機の高速度を図る例が多く、IHIMT でも改造実績が多数ある。

IHIMT では、冷間圧延機には構造がシンプルな 4 段式を採用し、形状制御機構としては、作業ロールの両軸端に軸箱 2 個ずつ配置し、4 点でロールに曲げを与えるダブルチョックベンディング (DCB) を採用している。ダブル



第 5 図 作業ロールシフトによる圧延板形状制御
Fig. 5 Crown control with work roll shifting

チョックベンディング方式は、限られた機器スペースのもとで作業ロールベンディング能力を強化でき、板形状制御範囲を広げることができる。



第 6 図 アルミニウム冷間シングルスタンド圧延機
Fig. 6 Aluminum single stand cold rolling mill

一方、作業ロールベンディングによる形状制御は、板幅中央部への効きが十分でない場合があり、これを補う目的で、控ロールに VC ロール⁽³⁾などの可変クラウンロールを併用することもある。IHIMT では、このベンディング機構に、後述する作業ロールのゾーンクーラント制御と板の形状検出ロールを追加することで、自動化された高精度かつ安定した圧延システムを提供している。

2.3 箔圧延機

アルミニウム箔は、食品などの包装材として多く用いられているが、最近では電池用材料などの工業材料としても用いられ、需要が伸びている。冷間圧延機から厚さ 0.30～0.65 mm の箔地と呼ばれる素材が箔圧延機に供給され、1 パスごとにほぼ 50% の圧下を繰り返し、0.2 mm 以下の箔材へ圧延される。0.01 mm 以下の極薄箔では、圧延前に 2 枚重ねて重合圧延される。

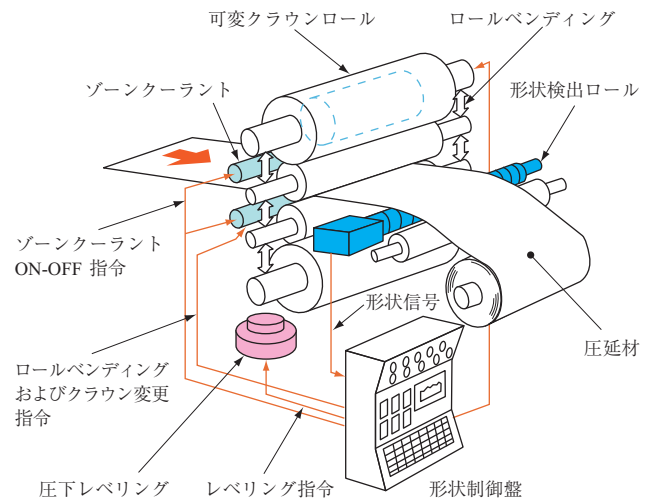
一般的にアルミニウム箔圧延機には非逆転式 4 段圧延機が適用され、その箔厚と生産能力（圧延時間）に応じて、①粗圧延機 ②中間圧延機 ③仕上げ圧延機、で構成される。初期投資を抑えるため、1 台の圧延機だけで粗圧延から仕上げ圧延までを行う兼用圧延機を設置する場合もある。

箔圧延では、製品の表面光沢の均一性やピンホールの有無が製品品質として管理される。箔圧延機では、これらの品質低下を防止するため、製品と接するロールは回転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、箔厚が非常に薄いため、圧延機内に付着した箔くずが圧延材上に落下しただけでも箔破断につながる。このため、圧延機内の清掃が容易に行える機構などの経験に基づく細かな配慮もなされている。

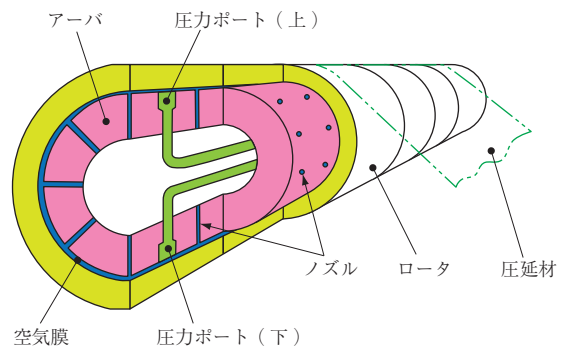
箔圧延における箔形状制御は、ロール間げきを直接制御する方法では板厚に比べて制御量が大きくなるため扱いにくい。このため、局所的な板の形状不良を修正する目的

で、圧延ロールの熱膨張量を変化させるゾーンクーラント制御方法を主として採用している。これは、局部的に発生している板の形状不良部に相当する作業ロールの幅方向位置に流量、または温度の異なるクーラントを噴射し、ロールの熱膨張量を変化させることで板の形状不良部を修正する方法である。

第 7 図に自動形状制御システムの構成例を示す。IHIMT では、このゾーンクーラント冷却制御に形状検出ロール (Shape Sensor Roll) を加えることによって形状制御を自動化したシステム (SHEETFLAT[®])⁽⁴⁾ も提供し、高精度かつ高品質なアルミニウム箔の生産に寄与している。第 8 図に空気軸受式形状検出ロールの構成を示す。アーバ表面のノズルから噴出される圧縮空気が外側にはめ込まれた複数のリング (ロータ) とアーバの間に空気膜を形成し、ロール上下面の圧力差を測定することによって、ロールに加わる張力を検出する。この張力のロール胴長方向の分布を測定することによって、圧延板形状の検出が可能である。



第 7 図 自動形状制御システムの構成例
Fig. 7 Configuration of automatic shape control system



第 8 図 空気軸受式形状検出ロールの構成
Fig. 8 Configuration of aerostatic-bearing-type shape sensor roll

2.4 圧延セットアップモデル

これらの圧延機の運転のためには、① 圧延ロールの間げき設定 ② 入側・出側の板の張力設定 ③ 速度設定 ④ 形状制御装置の設定 ⑤ ロール冷却と圧延潤滑のためのクーラントスプレーの設定 ⑥ ブラシロールの押付け力と回転速度の設定、などを行う必要がある。これらの設定は圧延セットアップと呼ばれ、古くは圧延オペレータの勘や経験に頼ることが多く、品質のばらつきや生産性の低下につながっていた。

鉄鋼向け圧延機では、人の手によるばらつきを排除し圧延の安定と品質向上を図るため、圧延セットアップに圧延計算モデルが導入され、セットアップの自動化が進められた。圧延機の各種設定諸元のうち、理論的に計算できる部分を数式モデル化して数値計算することを設定計算と言い、その数式モデルを圧延モデルと言う。

アルミニウム圧延では、広範囲の材質およびサイズをカバーするモデル化は困難とされ、計算モデルを理論的に作る努力も敬遠されていた。IHIMIT では、1977 年にアルミニウム冷間圧延機向けとしては世界に先駆けて、圧延セットアップモデル OPMIC-A (Optimum Mill Computer Control system for Aluminum rolling) を開発・実用化した⁽⁵⁾。また、箔圧延機では、1995 年に世界で初めて箔の圧延現象をモデル化した圧延機セットアップシステム (Mill Master-F) を実用化した。その後、タンデム熱間圧

延機では板厚制御モデルおよび形状制御モデルに、温度制御モデルも加えることによって、熱間圧延のセットアップ自動化も実現した。

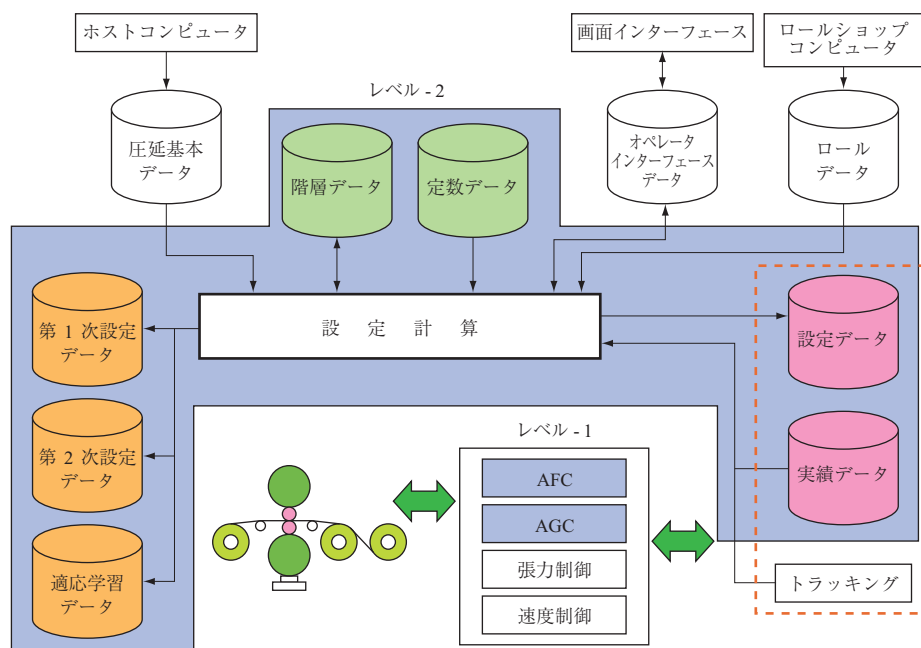
この圧延機設定計算は、① 変形抵抗モデル ② 圧延荷重モデル ③ 圧延トルクモデル ④ 摩擦係数モデル ⑤ 先進率・後進率モデル ⑥ 温度モデル ⑦ コイル巻取モデルの各数式モデル ⑧ 各数式モデルの計算結果と実際の圧延の結果との差を修正するための適応学習モデル、で構成されており、熟練オペレータの経験に頼らない圧延パススケジュールの構築を可能にした。第 9 図に圧延機設定計算システムの概要を示す。

3. 伸銅用圧延機

銅はアルミニウムと並び、非鉄金属材料のなかで汎用性の高い材料として広く工業製品に用いられている。特に近年、携帯電話やデジタルカメラ、IT 機器といった電機・電子製品向けの銅箔の需要が急増している。第 10 図に伸銅圧延品の製造工程を示す。圧延設備としては、熱間圧延機、冷間圧延機、箔圧延機の 3 種類に大別される。

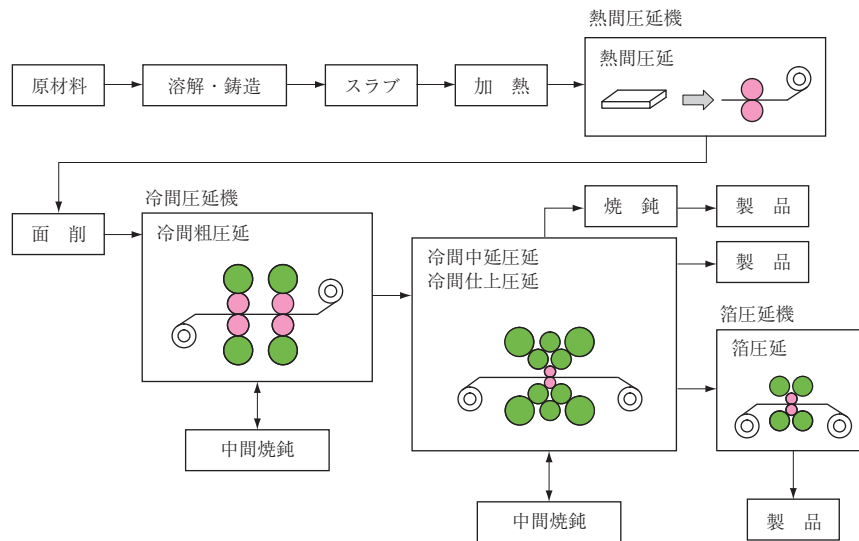
3.1 熱間圧延機

第 11 図に伸銅熱間圧延設備の構成例と設備の外観を示す。アルミニウムの熱間圧延工程と異なり、面削工程が熱間圧延の次にくるのが伸銅熱間圧延の特徴である。これは、熱間圧延中に銅板表面に不純物が析出、また、酸化硬



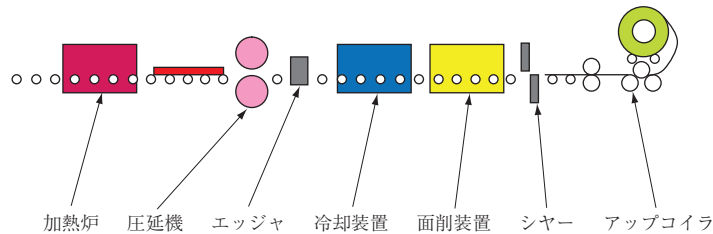
(注) AFC : Automatic Flatness Control
AGC : Automatic Gauge Control

第 9 図 圧延機設定計算システムの概要
Fig. 9 Rolling mill setting system



第 10 図 伸銅圧延品の製造工程
Fig. 10 Copper alloy rolling process

(a) 設備の構成例



第 11 図 伸銅熱間圧延機の構成例
Fig. 11 Typical arrangement of hot rolling mill for copper alloy

(b) 設備の外観



化膜が発生し、冷間圧延前にこれらを除去する必要があるためである。

このため、従来、伸銅熱間圧延機の精度要求は厳しくなく、2 段式の電動圧下圧延機が多く採用されてきた。しかし近年、強圧下によって冶金的な材料特性の改善を図るとともに、圧延精度向上による歩留り向上を狙って、4 段式の油圧圧下圧延機が採用されている。

3.2 冷間圧延機

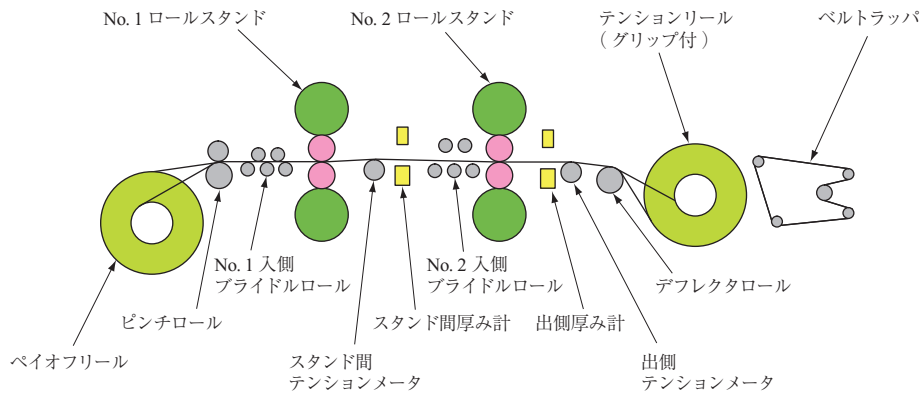
伸銅冷間圧延機には、粗圧延機、中延圧延機、仕上圧延機の 3 種類がある。粗圧延機には生産量に応じて、逆転式シングルスタンド圧延機か非逆転式タンデム圧延機が採用される。熱間圧延機から供給される原板が比較的に厚いため、圧延機へのかみ込みを補助するための圧延材押込装置（ステッカ式ガイド）を設置している。また、厚物材を巻き取るため、圧延材先端を確実にリールに巻き付けるためのグリップ付きリールを採用するなど、巻取装置にも工夫が施されている。第 12 図に伸銅冷間粗圧延機（非逆転式タンデム圧延機）の構成例を示す。

中延圧延機、仕上圧延機では、圧延材料が硬質材から軟質材まで多岐にわたる。このため、さまざまな圧延機形式が採用されており、4 段、6 段の逆転式圧延機や 12 段、20 段などの逆転式多段圧延機などが各社から提案されている。近年、製品厚みが薄くなる傾向のため、安定圧延および歩留り向上のため、自動形状制御装置が多く採用されている。IHIMT でも、前述の形状検出ロールを用いた自動形状制御システムを数多く供給している。

3.3 箔圧延機

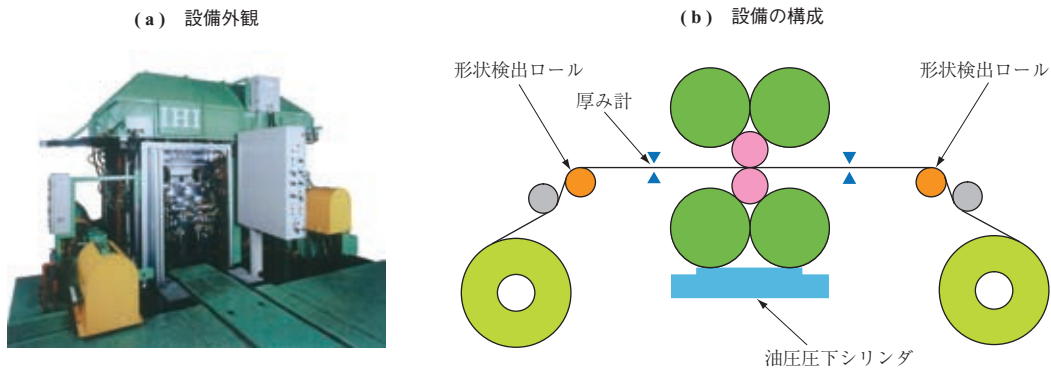
銅箔圧延では、材料の変形抵抗が高く、圧延荷重を低くするために作業ロールを小径にする必要がある。しかし小径ロールとした場合、作業ロールが水平方向にたわみやすくなるため、従来の直列配置の圧延機ではロール径、圧延材料幅が制限され、極薄箔の圧延が困難であった。

IHIMT では、この問題に対応するため既存の技術である多段クラスター圧延機から純銅箔圧延に適したロール径、ロール本数を選定し、第 13 図に示す 6 段 X 型銅箔圧延機を開発し、困難であった高品質の銅箔圧延を可能にし



第 12 図 伸銅冷間粗圧延機の構成例

Fig. 12 Typical arrangement of cold roughing mill for copper alloy



第 13 図 6 段 X 型銅箔圧延機

Fig. 13 6-Hi X-type copper alloy foil mill

た。さらに、この 6 段 X 型銅箔圧延機において、ロールユニットを交換することによって 10 段ロールでも圧延できる機構を開発し、より硬質材の圧延へも対応を可能にしている⁽⁶⁾。また、前述の自動形状制御システムを銅箔圧延機にも適用し、圧延の安定化と高精度化を実現している。

4. 結 言

非鉄金属材料用圧延機としてアルミニウム圧延機と伸銅圧延機について解説した。社会の発展と産業の多様化によって、アルミニウムや銅といった非鉄金属材料の需要はますます増加傾向にあり、製品に対する品質要求も高まってきている。

IHIMT では、自動板形状制御システムや自動セットアップシステムなどを開発し、非鉄金属材料用圧延設備の付加価値向上を図ってきた。今後も、高度な技術開発と豊富な実績を通じて、非鉄圧延分野での発展に貢献していく所存である。

参 考 文 献

(1) 藤本高幸, 山田竜也, 小林 浩, 宮阪清人, 桑野博明, 大谷内司: アルミ熱間圧延機への TP ロール

の適用 石川島播磨技報 第 30 巻 第 5 号 1990 年 9 月 pp. 367 - 371

(2) 本城 恒, 佐藤全佳, 口 誠寛: 板圧延における IHI 形状制御装置 IHI 技報 第 48 巻 第 2 号 2008 年 6 月 pp. 93 - 100

(3) 益居 健, 富澤 淳, 八尋昭人: 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 351 号 1990 年 4 月 pp. 515 - 520

(4) 雲英洋一, 都筑 茂, 三角憲二: 冷間圧延における形状制御と空気軸受式形状計 IHI 技報 第 48 巻 第 2 号 2008 年 6 月 pp. 129 - 135

(5) 鶴沼 功, 山田 弘, 渡辺 一, 黒田邦彦, 藤井紀生, 今井 功, 樋口均一, 関 剛: 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

(6) IHI メタルテック: 特開 2008-221291 本城 恒, 松澤 司, 都筑 茂