アルミニウムの圧延

松井邦昭*

Rolling of aluminum

Kuniaki MATSUI*

1. はじめに

アルミニウムの板製品の生産量の推移を図1に示す。近年、缶材を中心に大きな伸びが示されており、また生産量の増大と共に、圧延技術の進歩も著しく、品質面および生産性において大きな成果が得られている。

さらに板製品では板厚精度、表面品質、材料特性などにおいて一段と高度なレベルが要求されており、今後、なお一層の圧延技術の進展が期待されている。

本稿では、まず、圧延加工の基礎知識として重要な項目について簡単に説明したあと、アルミニウム板圧延の製造工程、設備および技術について解説すると共に、最近の圧延技術の進歩および動向について示す。

2. 圧延加工の基礎

2.1 変形機構

回転する二つのロールの間に材料を摩擦によってかみこみ、厚さあるいは断面積の小さな板あるいは形材などを製造する加工方法を圧延加工という。

圧延加工時の材料の変形挙動の模式図を図2に示す。変形の程度は、圧下量 ($h_1 - h_2$)、圧下率 ($(h_1 - h_2)/h_1 \times 100$) で表す。

ロールと材料が接触している部分を含む角 α をかみこみ角 (接触角)、入口と出口の接触部の間でロール速度と材料速度が一致する点 Y を中立点と呼ばれる。また、ロール出側の材料速度とロール速度との差を先進率 ($(V_2 - V_R)/V_R$) で表す。一般に先進率が大きくなる場合、摩擦係数が大きいことを表しており、圧延状態を示すパラメータとして用いることが多い。

2.2 かみこみ条件

板がかみこまれて圧延される条件としては、図3に示すように、力の釣り合いからかみこみ角が摩擦係数 μ

よりも小さいことが必要条件になる。

$$\mu > \alpha$$

図1 国内アルミニウム圧延板生産量の推移

$$\text{圧下量} = h_1 - h_2$$

$$\text{圧下率} = (h_1 - h_2) / h_1 \times 100\%$$

$$\text{先進率} = (V_2 - V_R) / V_R \times 100\%$$

図2 圧延加工における変形挙動

* (株)神戸製鋼所軽伸事業本部真岡研究室 (真岡市)。Research Section, Mooka, Aluminum & Copper Division, Kobe Steel Ltd. (Mooka-shi, Tochigi).

受理日: 平成元年11月9日

$$F \sin \alpha \leq \mu F \cos \alpha, \quad \therefore \tan \alpha \leq \mu$$

図3 かみこみ時に板に作用する力¹⁾

また、かみこみ後圧延可能条件としては、先に示した先進率が正である条件、すなわち中立点が接触角のなかにある条件が必要になる。理論的に摩擦係数がかみこみ角の1/2以上必要なことが知られている。

$$\mu > 1/2\alpha$$

一方、かみこみ角は圧下量 Δh 、ロール径 R により、近似的に $\sqrt{\Delta h/R}$ で表せるので、圧延できる圧下量は摩擦係数が大きいほど大きくできる。したがって、熱間圧延の粗圧延のように圧下量をできるだけ大きくとりたい場合は摩擦係数を大きくすることが必要であるが、摩擦係数の大きい場合、焼付きなど表面性状を劣化させることになるため、実操業では適正な摩擦係数になるように潤滑条件を制御している。

2.3 圧下力（圧延荷重）に及ぼす影響因子

実際に圧延時にロールが材料からうける荷重を圧下力とよぶ。圧下力に影響をあたえる因子は表1にまとめて示すように、変形抵抗、摩擦抵抗および負荷面積（接触面積）により定まる。

変形抵抗は合金、ひずみ速度（圧延速度）、ひずみ（圧下率）および温度（圧延温度）により影響を受ける。また張力によっても降伏条件から変形抵抗を小さくする。各合金の変形抵抗は平面ひずみ圧縮試験により求められることが多く、測定例を図4に示す²⁾。簡易的には単軸変形抵抗の測定値からミーゼスの降伏条件に従って1.15倍して用いることもある。

摩擦抵抗には潤滑油、ロール表面状況などが影響を及ぼし、摩擦係数が大きくなると圧下力は大きくなる。

圧延時の摩擦係数は一般に流体潤滑と境界潤滑領域が混合した混合潤滑領域であり、アルミニウム板の熱間圧延では0.05～0.20、冷間圧延では0.01～0.05程度であるといわれている。

接触面積については、ロール径、圧下量により定まる

図4 アルミニウムの変形抵抗の測定例²⁾

圧延条件（冷間圧延）

材料：焼鈍アルミ
ロール径 $2R'$ ：180mm ϕ
入側板厚 h_1 ：2.0mm
出側板厚 h_2 ：1.0mm
摩擦係数 μ ：0.14（滑らかなロール）

図5 圧延圧力分布の比較例³⁾

接触長さ $\sqrt{R \times \Delta h}$ と板幅 b との積で示される。したがってロール径、圧下量および板幅が大きいほど大きくなる。ただしロール径については、高圧下力になる薄板や

9

表 1 圧下力に影響を与える因子¹⁾

S : 压下位置 [mm]

H : 被圧延材入側板厚 [mm]

h : 被圧延材出側板厚 [mm]

P : 圧延荷重 [TON]

曲線 f : 压下位置と圧延荷重による圧延機の伸びを示す曲線

曲線 g : 被圧延材の厚さと圧延荷重による板厚変化を示す曲線

図 6 板厚決定原理

箔の圧延では圧下力による偏平を考慮することが必要である。

圧下力は圧延操作および設計上非常に重要な因子であるので、理論的に推算できるように解析がされている。圧下力とはロールの入口から出口までの圧延圧力分布の総計である。圧延圧力分布は図 5 に示すように変形抵抗に基づく圧力分布と摩擦に基づくフリクションヒルとの総和からなっており³⁾、理論的にその圧延圧力分布を表すために各種の理論式が提案されている。熱間圧延では Hill の式などまた冷間圧延では Bland & Ford の式や

図 7 板厚変動の要因と制御

Stone の式などがよく用いられている。

2.4 板厚変動と制御 (AGC)

板厚が決定される原理を図 6 に示す。圧延機の弾性変形特性を示す曲線 (ミル剛性曲線) f と板の圧延材の厚さと圧延荷重による板厚変化を示す曲線 (塑性曲線) g との交点が、出側板厚 h 、圧延荷重 P を示すことになる。板厚 h の変動の原因については、次のように大別される。

(1) ロール間隙 S の変化

いま、間隙が S_0 から S_1 に変化した場合、図 7 A のように曲線 f_0 は f_1 に変化し交点 A_0 は A_1 に移動し出側板厚は h_0 から h_1 に移動する。ロールや軸受の偏心があるとロール一回転ごとに間隙が変動し板厚変動の原因となる。

(2) 素材板厚 H の変化

H に変動があると曲線 g は図 7 B のように変化し、出側板厚は h_0 から h_1 に移動する。すなわち前工程で生じた板厚変動が製品の板厚変動をもたらす。

(3) 板材料の変形抵抗の変化

材料の変形抵抗が小さくなり塑性曲線 g が図 7 C のよ

図8 板クラウンの表示

表2 形状の種類⁴⁾

名 称	外観図	外観図の説明
端伸び (耳波)		板幅端部に波が発生し中央部が平坦であるもの
中伸び (中波)		板幅中央部に波が発生し端部が平坦であるもの
複合伸び (タオータ バックル)		板幅端部と中央部との中間に波が発生しているもの
片伸び (片波)		板幅の片側端部だけに波が発生しているもの
フラット		全体が平坦であるもの

うに g' に変化すると出側板厚は h_0 から h_1 に変化し小さくなる。また変形抵抗が大きくなると逆に勾配は大きくなり出側板厚は大きくなる。

板厚制御の方式としては、圧下制御と張力制御の二つがある。

(1) 圧下制御方式

図7Aに示したように h_0 から h_1 に板厚が変動したときにロール位置 S_1 から S_0 に変更することにより板厚を元の h_0 に戻す方式である。

(2) 張力制御方式

図7Cで示したように、張力を作用させると変形抵抗が小さくなり曲線 g が g' に変化することを逆に利用した方式である。

現状、AGC (Automatic Gage Control) は両者の制御

図9 形状の表示方法⁴⁾

表3 アルミニウム板製品の代表的製造工程

方式を組合わせて使用されている。

2.5 板クラウン、ひずみの発生と制御

圧延された板は幅方向にも厚さが一様でなく、図8に示すような板クラウンを生ずる。板クラウンは板の歩留を低下させるばかりでなく、板の形状不良と密接な関係を持っている。形状の種類を表2に示す⁴⁾。板クラウンが大きな板を圧延する場合や圧延荷重が過少の場合には中のびが生じやすく、逆に板クラウンが小さく、圧延荷重が過大の場合には耳のびが生じやすい。形状の表示法については図9にまとめて示す⁴⁾。

3. アルミニウム板圧延工程および設備

アルミニウム板の製造工程の代表例を表3に示す。一

9

般に熱間圧延の後、冷間圧延を行うと共に製品の品種、調質に合わせて適当な熱処理を組合わせて製品にするが、厚板製品のように熱間圧延だけで製品になるものが一部ある。

3.1 丸鋸、面削、均熱

アルミニウム鋳塊は一般に半連続铸造 (Direct Chill Casting, DC 铸造) により作られる。鋳塊の頭部、底部は凝固開始および終了時の非定常部であり铸造欠陥が生じやすいために丸鋸による切捨てを行う。切捨て量については、圧延工程等のオフゲージ部を考慮して決定される。また、铸造時の表面層の酸化皮膜、偏析などの不健全層は、面削とよばれるアルミニウム板圧延特有の工程により除去される。面削量は鋳塊のそり具合等の鋳塊形状、鋳塊表面の表面欠陥および製品用途による要求品質によって決定される。

均熱処理 (ソーキング、プレアニーリング) とは鋳塊での合金成分の偏析の均質化、過飽和に固溶した成分の析出などの目的のため鋳塊を高温で長時間加熱処理することをいう。一般的なアルミニウム材の加熱温度と時間を表 4 に示す。

炉の形式としては、ピット式炉および連続加熱炉がある。ピット式炉は熱風循環式炉で、ピット状の炉体と炉蓋および開閉専用のカバーから構成されており天井クレーンにより挿入、抽出されるもので、一般的に広く用いられている。一方連続加熱炉は、高能率で連続的に操作可能であり、シュープッシャー式やウォーキングビーム式などがある。前者はインゴットをスキッドの上のシュエーにのせ炉内に挿入し、炉内通過後専用取出し機で搬出される。後者はエンドレス・チェーンコンベヤー上にアタッチメントにインゴットをのせ炉内のレールの上を移送、加熱するものである。エネルギー原単位に優れ、大量生産に適している。

また、加熱方式は直接式と間接式に分類される。直接

図10 熱間圧延機の形式⁵⁾

式は燃焼ガスが直接鋳塊に接触するものであり、間接式はラジエントチューブを用い、チューブ内にて燃焼させるものである。熱源は灯油、LNG が用いられ、両者を切換えできるタイプもある。省エネルギーのためには直接式が有利であるが、厳しい表面を要求されるものでは間接式が有利であり、両方式を併用している工場が多い。

3.2 熱間圧延

3.2.1 熱間圧延設備および形式

熱間圧延機の形式を大別すると図10に示すように、三形式に大別することができる⁵⁾。

A の形式は可逆式圧延機 1 基により厚板生産のプレートミルおよびホットコイル生産の粗圧延機と仕上圧延機を兼用するものであり、ホットコイルは最終パスで巻き取る形式である。設備費が安価である反面、生産性、製品の表面品質、設備の操作性、保守性等に問題点があるが、技術の改善により、中規模生産量の圧延機として有効に稼働している。

B の形式は粗圧延機 1 基と可逆式仕上圧延機 1 基から構成され、厚板生産とホットコイル生産の両用に用いられるものである。仕上圧延をコイルでリバース圧延する形式であり、設備的に若干複雑になる問題があるが、仕

表 4 アルミニウム合金の均熱条件の例

品 種	加熱温度 ℃	保持時間 h	品 種	加熱温度 ℃	保持時間 h	品 種	加熱温度 ℃	保持時間 h
1080	500~540	0~6	3004	500~540	4~10	5083	500~520	4~10
1070	500~540	0~6	4043	470~540	4~10	5086	500~520	4~10
1050	520~560	4~10	4032	470~540	4~10	6063	520~560	4~10
1100	520~560	4~10	5N01	520~560	4~10	6061	500~540	4~10
2014	480~510	4~12	5005	500~520	4~10	6151	500~540	4~10
2017	480~510	4~12	5052	500~520	4~10	7075	440~460	6~24
2024	480~510	4~12	5082	500~520	4~10	7178	440~460	6~24
3003	570~610	6~24	5182	500~520	4~10	7N01	450~490	4~10

表 5 主な国内熱間圧延設備 (1965年以降)⁶⁾

タイプ No	粗・仕上兼用圧延機								圧延可能寸法 (厚板)		圧延可能寸法 (コイル)				
	型 式	主電動機出力 (kW)	WR 直径 (mm)	WR 胴長 (mm)	BUR 直径 (mm)	BUR 胴長 (mm)	スタン ド数	最圧速 (mpm)	最大延度 (mm)	最厚 (mm)	最大幅 (mm)	最厚 (mm)	最大幅 (mm)	最大コイル径 (mm)	最大コイル単重 (トン)
A1	4重逆転式	1,900×2	930	2,500	1,430	2,450	1	161		600	2,350	9.0	2,100	1,900	9.00
A2	4重逆転式	2,250×2	864	3,048	1,422	3,022	1	180		550	2,800	10.0	2,400	1,700	10.00

タイプ No	熱 間 粗 圧 延 機								圧延可能寸法 (厚板)		圧延可能寸法 (コイル)				
	型 式	主電動機出力 (kW)	WR 直径 (mm)	WR 胴長 (mm)	BUR 直径 (mm)	BUR 胴長 (mm)	スタン ド数	最圧速 (mpm)	最大延度 (mm)	最厚 (mm)	最大幅 (mm)	最厚 (mm)	最大幅 (mm)	最大コイル径 (mm)	最大コイル単重 (トン)
B	4重逆転式	1,900×2	970	3,760	1,530	3,680	1	120		530	3,710	9.0	2,150	1,900	12.00
C1	4重逆転式	2,600×2	965	3,900	1,530	3,850	1	180		640	3,850	12.5	2,650	1,900	16.00
C2	4重逆転式	2,250×2	950	3,300	1,410	3,250	1	180		600	3,250	12.5	2,200	1,950	17.00
C3	4重逆転式	3,750×1	965	4,320	1,530	4,250	1	180		640	4,070	12.0	2,650	2,540	22.00

タイプ No	仕 上 圧 延 機								
	型 式	主電動機出力 (kW)			WR 直径 (mm)	WR 胴長 (mm)	BUR 直径 (mm)	BUR 胴長 (mm)	スタン ド数
		F1	F2	F3					
B	4重逆転式		1300×2		820	2,300	1,370	2,150	1
C1	4重非逆転式	3,000×1	3,000×1	3,000×1	725	2,900	1,530	2,900	3
C2	4重非逆転式	2,600×1	2,600×1	2,600×1	733	2,286	1,380	2,286	3
C3	4重非逆転式	3,750×1	3,750×1	3,750×1	720	2,850	1,520	2,850	3

図11 熱間圧延工場レイアウトの例

上圧延機が1基ですむので、比較的安価である。

Cの形式は粗圧延機およびタンデム仕上圧延機から構成されるものであり、ホットコイルの大量生産に適し、生産性にとくに優れる。また、粗圧延機では厚板生産が

行われる場合が多く、幅も仕上圧延機より広くしている。

わが国における代表的な熱間圧延設備についてA、BおよびCの形式別に表5に示す⁶⁾。また、Cの形式であ

9

図12 熱間粗圧延機の例⁷⁾ 図13 熱間仕上圧延機の例⁷⁾

る熱間圧延工場のレイアウトの一例を図11に示す。圧延前工程で用いられる丸鋸、面削機、均熱炉のほか圧延機の付帯設備としてエッジャー、シャーなどの設備が配置されている。以下、主にCの形式における各設備、工程について説明する。

3.2.2 熱間粗圧延

4重逆転式圧延機の代表例を図12に示す⁷⁾。表5に示すように一般にワークロール径は約950 mm、幅は約4000 mm前後のものが多く、さらに大型化の傾向がある。また粗圧延機入り側ではエッジャーとよばれる堅型ロールがあり、幅方向の圧延を行う。スラブ端面の割れやエッジドロップなどの形状異常を防ぐほか、長手方向の幅制御にも用いられて、歩留り向上や鋳型サイズの低

減に大きな効果がある。

粗圧延工程では、均熱炉で440～610℃に加熱されたスラブは、必要に応じ幅出し圧延後、約20～50 mmまで10～20パスでリバース圧延される。粗圧延中約100 mm前後で先後端の2枚板状欠陥部をシャーにて切断する。粗圧延機で圧延され、仕上圧延機に送られるスラブを一般にラフバーとよばれ、再度先後端が切断される。

LNG等のプレートを製造する場合には、6～200 mmに圧延しシャーにて定められた寸法に切断後ローラテーブルより取出し精整ヤードに送りこまれ、ストレッチャー等でひずみ矯正し切断、焼鈍後表面内部欠陥の検査を実施し製品になる。

3.2.3 熱間仕上圧延

表 6 熱間圧延における重要管理項目

項 目	内 容
圧 延 温 度	均熱処理条件との組合せで結晶組織，方向性等の基本的な材料特性が決定される事が多い。
表 面 品 質	表面欠陥の多くは熱延工程に起因する。圧延油の選定と管理，ブラシのコントロール，テーブル等とのスリ疵に特に注意を要す。
板クラウン	熱延コイルのクラウンを冷延で大きく変更する事は通常できない。

3 タンデム仕上圧延機の代表例を図13に示す⁷⁾。仕上圧延では20～50 mm の厚さのラフバーを2～6 mm に連続圧延により圧延され，トリマーで両端を耳きりされた後テンションリールで巻き取られホットコイルとなる。

3.2.4 熱間圧延における重要管理項目

熱間圧延における重要管理項目について表 6 にまとめて示す。圧延温度を管理する方法としては，クーラント流量，圧延速度，圧延開始温度，強制スプレー冷却などの方法がある。

表面品質については，圧延油の選定と管理の他，ブラシのコントロールが重要である。

アルミニウムの圧延の特徴として，最も重要な問題はロールコーティングと呼ばれるロール表面に酸化アルミ

ニウムを主成分とする被膜が生成されることである。圧延はこのコーティング層を介して行われるためにこの被膜の性状により，製品の表面品質が決定されることになる。たとえば，コーティング層が厚すぎると一部脱落して板表面に欠陥（ビックアップ）を生ずる。一方，薄すぎるとかみこみ性が悪くなりスリップが生じやすくなるために板表面が不均一になる。この要因としては，圧延油，圧延条件の影響もあるが，機械的には調整する手段として，ブラシロールが備えられている。

ブラシロールの材質はワイヤ（ピアノ線）あるいはナイロン（砥粒入り）が用いられているが，圧延メーカのそれぞれ独自の技術によることが多い。一般的には，被膜を大量に除去するには，ワイヤが適しており，滑らかに均一に除去するにはナイロンが適しているといわれている。材質だけでなく，押付け圧力，回転数および幅方向のオシレーションなどの使用条件の影響によっても性能は異なり，経験的な技術に負うことが多い。

板クラウンについては，5 で示すように最近では各種の設備や技術が開発され制御できるようになってきた。

3.3 冷間圧延

3.3.1 冷間圧延設備および形式

板厚や工程順により，粗圧延機，仕上圧延機，極薄物圧延機などにより分類できるが，その区分は明確ではなく，各々の圧延工場において区分して，使用される場合が多い。

圧延機設備では，米国，ソ連などでは3～6 スタンド

図14 冷間圧延機の例（非可逆式4段圧延機）

図15 箔圧延の製造工程⁸⁾

のタンデムミルも設置されているが、わが国では、ほとんどが図14に示すようなシングルスランドミル（非可逆式）であり、タンデムミルは2スタンドのものが5ラインあるが、最近新設されるものではシングルスランド6段圧延機（非可逆式）が主流である。非可逆式を用いる理由としては、表面品質において優れた製品が得られやすいためである。

3.3.2 冷間圧延工程

2～6 mm に圧延されたホットコイルは1パス圧下率30～60%で圧延，目的に応じて粗焼鈍，中間焼鈍を施し，数パスで製品板厚まで圧延する。

冷間圧延の重要な管理項目としては、形状制御，板厚制御および表面品質である。形状，板厚制御については2で述べた方法のほか最近では各種の新しい方式が開発，実用化されている。表面品質では，適正な圧延潤滑を行うことが重要であり，潤滑過多ではオイルビットやスリップきずなどが発生し，潤滑不足では焼付きやエッジマークなどの欠陥が発生することが多い。

3.4 箔圧延

箔圧延の製造工程の概略を図15に示す⁸⁾。板厚0.4 mm 前後の箔地と呼ばれるコイルから約5パスで粗圧延，中延，仕上圧延を行い，5～9 μm の製品厚さに圧延する。一般に圧延速度は粗および中延では1000～1500 m/min の板圧延と同程度であるが，仕上げでは表面品質の観点から500 m/min 程度に抑えている場合が多い。また，圧下率は各パスとも約50%である。幅は800～1650 mm であるが，海外では2000 mm を超える広幅もできるようになってきた。

箔圧延の場合は，仕上圧延機においてダブルリング圧延とよばれる2枚重ね（重合）圧延を行うことが特徴であ

る。重合圧延する場合は，仕上圧延機の入側で2枚重ね圧延する方法と重合機で重合した後仕上圧延機で圧延する方法がある。重合圧延したアルミ箔は1枚ずつに分離する工程がある。分離された箔は，仕上圧延の際ロールに接した面が光沢面（B面）になり，アルミ同士が接する面は自由変形するために表面粗度が大きくなりつや消し面（マット面）となる。用途により，光沢面あるいはつや消し面を使い分けている。また，大部分は表面に付着している圧延油の除去のために焼鈍されてO材で使用されるが，一部強度を重視する場合はH材で使用する場合もある。

アルミ箔圧延における最も重要な技術は形状制御である。制御の手段としては①クーラントコントロール，②圧延圧力（チルト）制御③ワークロールベンダーおよび④VCロールなどバックアップ可変クラウンロール制御，が現在一般に利用されている。良好な形状を得るためには，以前は圧延オペレータが圧延中のひずみを目視により判断し①～③の手段をもって経験的な技術により調整していたが，現在ではAFC（Automatic Flatness Control）により，高感度のセンサーで検出した実形状と目標形状との偏差を少なくするために，上記四つの制御方法を用いて，自動的に制御するシステムになっている。AFCによる形状制御の向上により，圧延時の張力が幅方向に均一にかかるようになり，箔破断も減少されてきている。

破断の原因には，形状ひずみによるもののほか，耳部の不良など材料欠陥によるものがある。これを防止するためには casting 時の介在物，酸化物の巻き込み，熱間圧延時のローラきず，精整時のスリッター不良などを防止することが重要であり，すべての工程においてクリーン化

を図り異物の混入を防ぐことが必要である。

箔製品は用途上最も重要な品質として、ピンホールのないことが要求されている。ピンホールをなくするためには、クリーン化による異物の混入の防止のほか、ピンホール発生の原因のひとつであるマット面粗度の凹部拡大による発生を抑制するために、形状ひずみをできるだけ平坦にして幅方向の張力分布を均一にすることも重要である。

4. 圧延潤滑技術および表面品質

アルミニウム板では、表面品質が最も重要な製品品質のひとつであることから、圧延工程における潤滑の問題は非常に重要である。

4.1 熱間圧延潤滑

熱間圧延の圧延には冷却と潤滑を兼ねて Oil in Water 型エマルジョンが圧延油として使用されている。

市販されている圧延油の性状を表7に示す⁹⁾。添加剤としてはオレイン酸を主とする脂肪酸を用いているものが多く、乳化剤としてはアニオン、ノニオン系の二とおりがある。

エマルジョンの油分濃度は通常粗圧延では3～5%，仕上圧延では5～10%で使用されている。エマルジョンタンク容量は100～数100 klで循環使用される。使用中に劣化したエマルジョンはフリーオイルが分離浮上するために適時廃棄されその分新しいエマルジョンを補給し、数ヵ月～数年の間使用される。圧延油の消費量は0.5～5 l/ton で使用条件により異なる。

図16 熱間圧延油エマルジョンの性状変化例¹⁰⁾

熱間圧延の潤滑状態すなわち板表面品質を支配する因子としてはロールコーティングが最も大きな影響を及ぼす。ロールコーティングは圧延油、ブラシロールおよび圧延条件によりコントロールすることが必要である。またアルミニウムの板材質によりコーティングの付きやす

表7 アルミニウム熱間圧延油市販品の性状⁹⁾

性状	市販品	A	B	C	D	E	F	G	H
(原液)									
比重	15/4°C	0.900	0.949	0.933	0.899	0.934	0.920	0.895	0.925
引火点	(COC)°C	162	160	154	148	232	324	214	168
粘度	40°C cSt	31.63	47.94	59.52	33.85	78.76	91.73	51.54	41.51
	100°C cSt	5.082	5.916	6.649	5.404	9.561	10.55	7.336	5.511
粘度指数		79	45	42	90	99	97	102	51
全酸価	mg KOH/g	24.2	27.3	26.9	24.0	2.41	19.1	11.2	14.5
けん化価	mg KOH/g	25.5	38.0	38.2	25.4	34.6	35.0	17.7	20.0
P %		0.18	0.21	0.20	0.18	0.05	0.35	0.00	0.00
(4 vol% エマルジョン)									
pH		0.9	8.6	8.6	8.8	8.1	8.1	8.7	8.6
予備アルカリ度		8.6	8.8	8.3	8.4	2.4	7.9	6.0	7.9
粒子度 (2 μm 以上)	N/C	50	72	63	68	290	16	329	243
主乳化剤		オレイン酸・アミン塩				非イオン系界面活性剤		スルホン酸ナトリウム塩	

表 8 圧延材の表面欠陥の分類¹¹⁾

鋳造工程に起因する欠陥 インクルージョン、黒皮残り、ふくれ、ストリンガー、ストリーク
圧延工程に起因する欠陥 押し込み、皮きず、汚れ、合わせふくれ、ラミネーション、耳割れ、エッジマーク、エンドマーク、送りマーク、ヘリンボーン、光沢不良、ピックアップ、表面割れ、コーティングむら、ロールマーク、ロールスクラッチ、びびり、段付き、ストップマーク、圧延きず
仕上工程に起因する欠陥 レベラーマーク、引張ひずみ模様、油焼付き、焼鈍模様、なましきず、機械きず、しまりきず、もみきず
ハンドリング工程に起因する欠陥 ハンドリングスクラッチ、当りきず、押しきず、腰折れ、輸送きず、腐食

さが異なるため、圧延順序が重要な因子になっており、圧延各社の技術標準になっている。

エマルションは長時間使用すると性状が変化するために、常に圧延に最適な状態に保つためにエマルションの日常管理をする必要がある。図16にエマルションの性状の経時変化の一例を示す¹⁰⁾。エマルションではとくに粒径分布の管理が重要なものとなる。

4.2 冷間圧延潤滑

冷間圧延油は1.5～4.0 cSt/40℃の粘度をもつ鉱物油を基油として、添加剤として高級アルコール、エステルお

よび高級脂肪酸を数%油性向上として使用されている。アルミニウム板の圧延では鋼や熱間圧延などに使用されている脂肪酸よりもアルコールのほうが油滑性に優れていることが知られるようになり、最近では主にアルコールが使用されている。脂肪酸についてはステイン性の面からも多量に使用することは望ましくない。ただし鋼に対する吸着力が強いことから、ロールコーティングを少なくし、板表面の光沢を向上させる効果もあるといわれており、微量添加して使われている場合もある。

冷間圧延油の管理としては、添加剤濃度、粘度、ステイン性、透過度、分留性等を日常管理している。圧延中は微細な摩耗粉（1 μm 以下のものが多い）が大量に発生し、板表面の汚れ、疵の原因になるために一般にけいそう土、白土のろ過剤を用いてハイドロメーション、シュナイダーなどのブリコートフィルターを使用して吸着ろ過している。

4.3 圧延材の表面欠陥の分類

圧延板に発生する表面欠陥を工程別に分類しまとめた結果を表 8 に示す¹¹⁾。圧延工程に起因するもののほか前後工程に起因するものもあり、対策について留意が必要である。各欠陥の形態、原因および対策については参考文献を参照いただきたい。

5. 最近の圧延技術の動向

5.1 圧延設備の増強

最近の圧延設備の増強の動向を表 9 に示す¹²⁾。多くの工場が缶材の需要の増大に対応するために、増強されたものである。いずれも最新鋭技術を積極的に導入し、高品質、高生産性の圧延を図っている。中でも、板クラウ

表 9 最近のアルミニウム圧延機増強動向（1983年以降）¹²⁾

完成	会 社	工 場	熱間圧延	冷間圧延	備 考
1983	古河アルミ	福井 (日)	新設 R. 4320 mm F. 3-T 2850 mm	新設 2750 mm	新工場
	REYNOLDS	McCook (米)		新設 2240 mm	
	CONALCO	Hannibal (米)		新設	
1984	KAISER	Trentwood (米)	更新 F. 5-T	幅改造5-T 1730 mm	完全連続
1986	ALCAN	Logan City (米)	新設	新設	新工場
	PECHINEY	Rhenalu (仏)		新設 1850 mm	1800 mpm
1987	ALCOA	Warrick (米)		幅改造 2060 mm	
	ALCOA	Tennessee (米)		新設3-T 2030 mm	完全連続
1988	古河アルミ	福井 (日)		新設 1760 mm	1800 mpm
	神戸製鋼所	真岡 (日)	改造 F. 3-T→4-T		

注：R 粗圧延機、F 仕上圧延機、-T タンデム
 xxxxmm 圧延機幅 xxxmpm 最大圧延速度仕様

ン、形状制御技術、連続圧延技術および高速圧延技術などにおいて、技術の向上が著しい。

5.2 板クラウン、板形状制御技術

新しく開発、採用されている主な技術を表10にまとめて示す¹³⁾。熱間圧延では、主として板クラウン制御として、冷間圧延では形状制御に活用されている。

また、従来から使用されているワークロールのたわみを制御するロールベンダー技術およびロールの熱膨張を冷却により調整するクーラント（圧延油）のゾーンコントロール技術とも合わせて使用されている。

また、自動制御を行うために、オンラインでのセンサーとして、熱間圧延では固定型と走査型の2台のX線板厚計からなる板クラウン計（板プロフィール計）が、また冷間圧延では表11に示すような各種形状検出器がそれぞれシステムとして組込まれている。

自動制御システムとしては、冷間圧延の形状制御がAFCとして早い時期から実用化されているが、熱間圧延ではロールのヒートクラウンの予測と入側板クラウンの予測の困難なことおよび鋼板の場合に比べて板の形状不良が現れやすいことのために、十分に活用されている板クラウン制御システムはまだ少ない。

表10 主な板クラウン、形状制御の新技术¹³⁾

名称	構 造	原理および特徴
HC ミル (6Hi)		中間ロールをシフトさせワークロールのベンダー効果を増大することでクラウン制御効果をあげる。
VC ロール		油圧でバックアップロールを調整しワークロールの変形およびベンダー効果の増大でクラウン制御を行う。
TP ロール		テーパピストンの押込み量によりバックアップロールクラウンを可変としベンダー効果をあげることでクラウン制御を行う。
CVC ミル		Sカーブと呼ばれる特殊な形に研磨されたワークロールを左右にシフトしてクラウン制御を行う。

表11 形状検出器の種類

検出方式	形 状
圧 電 子	
エ ャ ー 圧	
磁 ひ ず み

図17 国内冷間圧延機の設置年度と最大圧延速度の推移¹²⁾

今後、より高精度の板クラウン制御を達成するためには板クラウン計に加えて形状検出器の設置のほか、圧延機入側の板クラウンを検出およびロールのヒートクラウンの検出または高精度に予測することが重要になる¹⁴⁾。

5.3 高速圧延技術

国内に設置された冷間圧延機の最大圧延速度の能力を図17に示す¹²⁾。板厚の薄肉化およびコイルの大型化と共に、高生産性を確保するために、冷間圧延機の高速度が進み、現在2000 m/min までになっている。圧延機の構造、制御の面からは、鋼の圧延機で実用化されているようにこの程度の速度はとくに問題はないが、現状使用されている鉱物油系圧延油では、高速になれば冷却能の不

9

図18 連続冷間圧延設備の例¹⁵⁾

足および表面品質の光沢不良などの問題が考えられるために、より引火点の低い低粘度の圧延油が必要になり、圧延中の板切れなどによる引火の危険性が大きくなることが懸念される。現在、圧延機には、自動炭酸ガス消火装置が設置され、出火までいたる危険性は少ないが、高速化を阻害する大きな理由の一つとなっている。したがって、熱間圧延と同様な水をベースとした圧延油の実用化が望まれている。実用化での問題点は圧延された板上への付着によるウォーターステインであり、圧延後の板から水分を除去することが最も重要であると考えられている。すでに米国の一部冷間圧延機には使用され始めているが、多くの設備的制約があるようであり、いまだ一般的には実用化に到っていない。

5.4 連続化

連続圧延技術として、コイルの入れ替え時にも圧延機を止めないで、コイルを溶接し、連続して圧延する技術が実用化され、高生産性圧延を実現している。単品種大量生産に対して、効力を発するものであり、現在、アルミニウムの連続圧延機としては、表9に示す2圧延機があり、いずれも缶材専用の圧延機である。連続圧延設備の概略を図18に示す¹⁵⁾。

この圧延技術で重要な点は、圧延中に板厚を任意に変更することであり、圧延制御技術の発展が実用化を可能にしたものと考えられる。

その他、工程間の連続化として、EMC造塊技術の適用による面削工程の省略による連铸-熱間圧延間の連続化、矯正-表面処理-スリッター間の連続化などについても検討されており、今後、前後工程も含めて、連続化が進展していくものと考えられる。

6. おわりに

アルミニウム板圧延に関する基礎、応用技術および最近の技術動向について、できるだけ簡潔に述べた。さら

に詳しい専門的な技術については、参考文献を参照いただきたい。

アルミニウム板の需要は今後とも大きな伸びが期待され、より一層の高度な技術が必要となると考えられる。アルミニウム圧延技術は、鋼の圧延と共通の技術のほか、ロールコーティングに代表される表面品質問題やクラウン制御の難しさなど独自の課題も多く、さらに新しい技術の開発、実用化が必要になるであろう。

また、圧延技術は圧延機設備、圧延材の材料特性、圧延理論、制御理論など幅広い分野を含んだものであり、今後各々の分野における研究開発と共に、各分野を総合した技術開発を推進することが重要である。

参考文献

- 1) 鈴木編：塑性加工（改定版）（1980），105.
- 2) 鈴木他：東京大学生産技術研究所報告，18（1968），40.
- 3) 日本鉄鋼協会編：板圧延の理論と実際，（1984）.
- 4) 塑性加工要覧（1985），日本塑性加工学会.
- 5) 池田，細井：アルトピア，2（1979），33.
- 6) 軽金属学会研究部会報告 No 11，アルミニウム圧延設備の現状，（1984）.
- 7) IHI カタログ，Rolling Mill For Non Ferrous Metals.
- 8) 上野：第121回塑性加工シンポジウム，（1989），27.
- 9) 吉田：潤滑，33（1988），733.
- 10) 軽金属学会研究部会報告 No. 14，アルミニウム板圧延油の現状，（1985）.
- 11) 軽金属学会研究部会報告 No. 5，アルミニウムおよびアルミニウム合金の表面欠陥，（1980）.
- 12) 近藤：アルトピア，19-1（1989），15.
- 13) 杉江：住友軽金属技報，29（1988），50.
- 14) 木村，杉江，星野：第121回塑性加工シンポジウム，（1989），17.
- 15) Fred L. Church: Modern Metals.（1987），11.
- 16) 軽金属協会編：アルミニウム技術便覧，（1985），476，軽金属出版.