技術報告

回転ドラム式連続鋳造法によるアルミニウム板の製造

室町 繁雄*・金子 常夫*

Fabrication of aluminum strip by the rotary-type continuous casting process

Shigeo MUROMACHI* and Tsuneo KANEKO*

There are various processes of strip casting for aluminum and its alloys such as Hunter Eng., 3C, Hazellet and so on. In these processes the melt are poured into the interspace between two rotating rollers or belt. The authors have developed a new strip casting process "Rotary-type continuous casting process". This process has a rotary drum and a fixed metal mold. 10 mm×420 mm and 14 mm×420 mm strips were produced under following conditions. casting speed: 1-2 m/min, casting temperature: 720°C, cooling water: 1.5-4 t/hr. Properties of the sheets produced were examined.

Keywords: aluminum, continuous casting, strip casting, rotary-type casting

(Received October 5, 1988)

1. 緒 言

溶湯から直接薄肉、幅広のアルミニウムおよびその合金板が連続的に製造できれば、作業工程の簡素化ひいては省エネルギーに直結することから、各国ともその開発に力を入れている。これまで海外で開発され、わが国に導入されたものに Hunter Eng. 法、3C 法、Hazzelt 法等挙げられる。これらは回転ロールまたはベルト間に溶湯を注入し製板するものであるが、黒鉛モールドまたは金型を用い、間歇的に引出す横型連鋳法も開発されている。

著者らは数年来、一方は回転ドラム、一方は固定金型からなり、その間に溶湯を注入する独自の装置を開発し、試験を続けてきたが、厚さ16 mm×幅420 mm、厚さ14 mm×幅420 mm のアルミニウム板の製造が可能になったので、これまでの試験経過を報告する。本報は装置も簡単に消耗するものも少なく、生産性も比較的高いので、その応用面もかなりあると思われる。また得られた鋳造アルミニウム板を0.5 mm、1.5 mm 厚に冷間圧延し、その性質も調べたので併せて報告する。

2. 海外の方法と著者らの方法

Fig. 1 に Hunter Eng. 法^{1),2)}を示す。本法は回転ロール間にスリットを差込み下から溶湯を押上げロールで巻

取る方法で、厚さ6 mm、幅1460 mm の寸法の板まで鋳造している。これを交流モーターによるロールで2パス、仕上げ直流モーターによるロールで2パスして0.6 mm 板に仕上げ、焼付塗装により製品化している。一方箔にまで圧延し包装材としている。最近回転ロールを上下方向に組合わせ、水平方向から注湯するジャンボ Hunter もできている。Fig. 2 は Hunter Eng. 法の装置を横にしたもので、3C 法²⁾と呼ばれ、鋳造と同時に圧延もできるよう工夫されている。近年本法による板の表面はかなりきれいになり、その需要も拡がるものと思われる。本法による板も箔にまで加工されている。Fig. 3 は線材製造の目的で開発され、わが国でも使用されている Properzi 法¹⁾で、キャストリングホイールとテンションホイールの間にスチールベルトが掛かっていて、その間に溶湯を注入、凝固させ引出す方法である。しかしこの方法では幅広の板は取出せないで、Fig. 4 に示す Al Swiss Gauchi 法²⁾が開発された。本法はスチールベルトのガイドロールが4本あり、12×150 mm の板が鋳造され、タンデムにホットロール、コールドボックス、コールドロール、打抜機が並び4 mm 厚のインパクト用スラジが打抜かれ出てくる。

Fig. 5 は、Hazzelt 法^{3),4)}で2組の水冷回転スチールベルト間に溶湯を注入し、ピンチロール、シンクロナイジングブリッジを経て熱間ロールで所定の厚さに圧延さ

* (株)平和アルミ製作所 (東京都)。Heiwa Alumi Works Ltd. (Arakawa-ku, Tokyo)。

Fig. 1 Hunter-engineering process.

Fig. 2 3C process.

Fig. 3 Properzi process.

Fig. 4 Al Swiss gautchi process.

Fig. 5 Hazelt process.

れる。なおベルトと一緒に回転する鋼片を連結したエンドレス、ダムブロックが堰の役目をしている。本法では、インパクトプレス用スラジが製造されているが、幅広の板の製造はベルトのひずみ等を考えると困難かとも思われる。この難点を解決するため水冷キャタピラー方式を Altenpole 博士が Swiss Aluminum で開発したとのことである。Fig. 6^(2),5),6)は黒鉛モールドを用いた横型連铸で、著者らは10年余りこの試験を重ね10×300 mmの板の鑄造に成功した。Fig. 7に示すように間歇的に引出す方式で、引出しピッチ10~80 mmと変えても鑄造は可能であるが、ピッチを大きくとれば停止時間を長く

Fig. 6 Schematic diagram of casting unit.

Fig. 7 Drawing speed.

せざるを得なく、結局260 mm/min以上の铸造速度は期待できなかった。したがって回転ドラム式連铸法に変更し試験を進めることにした。BNF (British Nonferrous Metals Technology Center) では湯溜り部分を往復運動させ連続的に引出す試験をしていたが基本は同じことと思われる。Fig. 8にUgine Gauchi法⁷⁾を示す。本法は金型を用いた横型連铸法で、潤滑油を補給する付近が工夫されている。アルミニウム電解工場のブスパーを铸造するのが目的のようで厚さ30 mm以下は困難とのことである。Fig. 9にTechnica Guss法⁸⁾を示す。これも金型を用いた横型連铸法で溶湯が凝固する金型の深さはわずか15 mmとのことである。これも湯溜りの中に細工がなされているものと思われる。バキュームチャンバー、プレッシャーチャンバー等金型周辺が複雑なようで、溶湯が湯溜りから15 mmの金型間を通過する間に凝固させ10×400 mmの板を引出すためには、冷却、温度等精密なコントロールが必要であろう。しかしサンプルを見た限り、かなり表面状況はきれいであった。

以上の方法をみるに、Hunter Eng. 法、3C 法、Hazzell 法は、回転ロールまたは回転ベルト間に溶湯を注入するのに反し、黒鉛モールドを用いた横型連铸法、Technica Guss 法に見られる金型を用いた横型連铸法は

Fig. 8 Ugine gauchi process.

Fig. 9 Technica guss process.

いずれも固定である。著者らの開発した回転ドラム式連铸法は、一方は銅製回転ドラム、他方は固定銅金型よりなり、その間に溶湯を注入し連続的に引出す点が前二者と異なる。

3. 試験結果

3.1 作業条件の決定

本装置の概略をFig. 10に、回転ドラム、固定金型部をFig. 11に示した。本装置による铸造の注意事項としては、

- (1) ドラムの回転を一定に保つこと。緩やかな変化はよいが、急激な加減速、停止は不可。
- (2) 溶湯の供給量を一定に保つこと。
- (3) 回転ドラムと固定金型の熱容量が異なるため、双方の温度上昇に十分注意すること。
- (4) 固定金型への潤滑は全域に一定量の良質な潤滑油を供給すること。

等が挙げられよう。

Fig. 10 Outline of rotary drum type casting apparatus.

Fig. 11 Rotary drum and fixed metal mold.

上記鑄造の注意事項に従い本装置の設計、改善の要点はおおよそ次のようになる。

- (1) ドラムの回転は、当初チェーンドライブとしたが、スタート時、加減速時に時間のずれが生ずるため無段変速モーターを直接ギヤーで接続し、さらに周波数変換装置を取付け、回転速度の微調整を行いやすくした。
- (2) 固定金型上部から、潤滑剤として白紋油またはシリコン油を送るようにしたが、焼付きが起りやすいため、**Fig. 12**に示すように20数本の銅パイプを通し、潤滑油を一定間隔にポンプで圧送するようにした。
- (3) また**Fig. 10**に示すように湯溜りにフロートを取付け湯面を一定の高さに保つようにした。このときの湯溜りの温度を 720°C と一定に保った。
- (4) 湯溜りから5本の $4.5\text{ mm}\phi$ の穴を通し給湯するようにした。スリットを通し帯状に注入することが望ましいと思われたが、そのためには注湯量を多くする必要があり、 1.2 m/min の鑄造速度ではスリットは用いられなかった。

この鑄造装置を使用し、 $10\text{ mm}\times 420\text{ mm}$ の板の鑄造に成功したが、5本の溶湯がドラムと固定金型間に注入されると**Fig. 13**に示すように、ドラム側に5本の筋ができ、圧延後も薄い模様として残り、これを防止するため、多くの時間と労力を必要とした。

その結果

- (1) ドラムと固定金型間に**Fig. 10**に示すような断熱材製スリットを差込むこと。

Fig. 12 Lubricant pipes.

Fig. 13 Streaks appeared on the surface of a cast plate.

- (2) ドラムと固定金型間に微小な空気圧をかけることにより、セミホットトップ鑄造法を採用することが可能となり、両面共鏡面に近いものが得られるようになった。
- (3) 板厚 10 mm の場合には、スリットの工作が困難であると同時に、その寿命も短かったため、 14 mm 厚に変えることにより、寿命も伸び鑄造も容易となった。
- (4) 鑄造速度、固定金型長、ドラム温度、固定金型温度の間に一定の相関関係があり、本実験ではドラム直径 1000 mm 、固定金型長 70 mm 、ドラム温度 30°C で、固定金型は熱電対を差込み、常に 100°C 以下になるよう冷却水の調節を行った。
- (5) 本実験での鑄造速度は、板厚 10 mm のとき 1.2 m/min 、板厚 14 mm のとき 0.8 m/min であった。

3.2 鑄造板の性質

本法で得られた鑄造板の外観を**Fig. 14**に示す。鑄造板の成分は、 $\text{Fe } 0.35\%$ 、 $\text{Si } 0.20\%$ 、 $\text{Cu } 0.02\%$ 、 Al 残であった。(a)には5本の筋が表面に現れているが、(b)に示すようにスリットを差込むことにより両面とも鏡面に近い状態が得られた。**Fig. 15**は鑄造板の断面のマクロ組織を他の鑄造法によるものと比較して示す。**Fig. 16**はミクロ組織で、大きな Fe 化合物が粒界に認められた。また本法による鑄造板は、面削なしで製板するのが特徴である。したがって、これらはアルマイト処理に不向きの原因となろう。

なお本法による鑄造板(10 mm 厚)を $1.5\sim 0.5\text{ mm}$

(a) Surface appearance of five streaks.

(b) Used slit.

Fig. 14 Surface appearance of a cast aluminum plate. ($\times 1/6 \times 3/5$)

厚に冷間圧延し、150、250、350、400、450および500°Cにそれぞれ2時間焼なまし後引張試験ならびにカップテストを行った結果をそれぞれFig. 17～Fig. 19に示す。Fig. 17に示すように、伸びは十分出ていることが分かる。再結晶度は290°C近傍で他の铸造法によるものと余り差はない。Fig. 18およびFig. 19はカップテストの結果で、250°C焼なましでは圧延方向に対し、45°方向に耳が現れたが、300°C以上になると、45°方向の耳はほとんど消えていることがわかる。

4. 総 括

一方が回転ドラム、他方が固定金型からなる連铸法により、厚さ10 mm×幅420 mm、厚さ14 mm×幅420 mm板の製造に成功した。

- (1) 铸造条件としては、铸造温度（湯溜りの中の溶湯温度）720°C、铸造速度1.2 m/min（板厚10 mmのとき）、0.8 mm（板厚1.4 mmのとき）、冷却水量1.5～4 t/hrであった。
- (2) 固定金型温度は100°C以下に保つことにより良好な結果が得られた。

Fig. 15 Macrostructures of cast plates by various casting processes. (a) Rotary type (level of melt high), (b) Rotary type (level of melt low), (c) Technica guss process, (d) 3C process, (e) Horizontal continuous casting process (graphite mold) ($\times 3 \times 3/5$) **Fig. 16** Microstructure of the cast plate. ($\times 100 \times 3/4$)

- (3) ドラムと固定金型間にスリットを差込み、セミホットトップ方式をとることにより板の表面を改善した。
- (4) 本法で得られた铸造板を冷間で1.5～0.5 mmに圧延した板は、深絞りにより圧延方向に対し45°方向に耳が現れたが、300°C以上の焼なましにより耳は

Fig. 17 Relation between annealing temperature and tensile strength, elongation. (a) 0.5 mm plate (95% reduction), (b) 1.5 mm plate (85% reduction).

ほとんど現れなくなった。

- (5) 再結晶温度は290°C近傍であった。焼なまし後の伸びは50~60%とかなり高い値を示した。
- (6) 結晶粒界に比較的大きな鉄化合物が認められた。これは面削を省略して圧延することと相まって、アルマイト処理に向きの原因になるかもしれない。
- 終わりに本研究装置は、(株)クロスの山口氏に依頼したもので、後改造を繰り返した。また板材の性質については、前 建彦氏 (富山工専) の協力によるもので、記して感謝の意を表したい。

参 考 文 献

1) 室町: 軽金属, 15 (1965), 14.

Fig. 18 Relation between earing height and angle to rolling direction of a 1.5 mm plate which was rolled at 85% reduction and annealed at various temperatures.

Fig. 19 Relation between earing height and angle to rolling direction of a 0.5 mm plate which was rolled at 95% reduction and annealed at various temperatures.

2) 室町: 軽金属, 21 (1971), 492.
 3) 神尾: 軽金属, 32 (1982), 311.
 4) 柳田: 軽金属第19回シンポジウムテキスト, (1981).
 5) 室町: 軽金属, 32 (1982), 76.
 6) S. Muromachi: *Aluminium*, 58 (1982), 11.
 7) A. Angleys: *J. Metals*, 12 (1960), 42.
 8) D. Moritz and W. Dietz: *Aluminium*, 55 (1979), 395.