解説

間接押出法の特性和その実用化について*

横林 寛昉**

Characteristics of indirect extrusion process and its practical use*

Hiroaki YOKOBAYASHI**

1. はじめに

アルミニウム合金の押出には、直接押出法と間接押出法がありともに長い歴史を有している。

直接押出法は、1797年 J. Bramah によつて初めて堅型鉛管プレスに採用され¹⁾、さらに 1894年 G. A. Dick によつてビレット供給式の横型 4 柱式押出プレスが發明され²⁾、これを 1896年 Nursey によつて改良される³⁾とそれ以降著しく発展し、わが国においても約 280 基の直接押出機が使用され現在に至っている。

一方、間接押出法は、1870年 Haines および W. Weems によつて堅型鉛管プレスに採用され⁴⁾、1926年 R. Genders によつてコンテナ内壁とビレットの摩擦損がなく大径・長尺ビレットの押出に有利であると提唱⁵⁾されながらも高力合金等ごく一部の押出にしか採用されておらず、わが国においても本研究に基づいて製作された 1 基を含め数基しか利用されていないのが現状である。

その主な理由としては、ビレット表皮層が押出材表面に巻込み不良として発生する^{6),7)}ため良品が得られないことと、ホローステムの強度上からダイスの外接円の大きさに制約を受けるために押出材の有効断面積が減少し、多穴材押出が困難である^{8),9),10)}ということであり、これらに関する研究は見当らない。

以下、著者らの長年の研究の結果をまじえて間接押出法の特性和実用化についてまとめた。

2. 間接押出法の諸特性

第 1 図は、直接押出法と間接押出法の原理を示すもので、直接押出法の場合には、ビレットはステムの左側に位置しダイスの方向へとステムによつて押出される。

他方、間接押出法の場合には、コンテナとビレットとがともにホローステムの先端に取付けられたダイスの方向へと移動する。このように、直接押出法も間接押出法

①プラテン ②ダイス ③ビレット ④ダミーブロック ⑤ステム ⑥ホローステム ⑦コンテナ ⑧クロージングプレート

第 1 図 直接押出法と間接押出法の原理

もステムまたはコンテナを動かす力、すなわち押出力は、ビレットの温度、ビレットの径と長さ、ダイスの形状等の影響を受けるものと考えられる。

一般的に直接押出法では、ビレットとコンテナ内壁の摩擦抵抗が比較的大きいのに対して、間接押出法では、摩擦抵抗が少なく押出力は押出中ほぼ一定であると考えられる^{11),12)}。

そこで、尾形ら⁵⁾の研究を紹介しながら直接押出法と間接押出法に関する押出力とそれに及ぼす諸影響を報告する。

2.1 押出力

直接押出法における押出力 P は、E. Siebel ら¹³⁾によつて次式で与えられている。

$$P = A \times \rho \times \log \frac{A}{a} + A \times \mu \times \rho \times \pi \times D \times L \quad (2.1)$$

P : 押出必要力量 (kg)

A : ビレット断面積 (mm²)

a : 押出材断面積 (mm²)

ρ : 変形抵抗 (kg/mm²)

* 軽金属学会第53回秋期大会 (52-11) および軽金属, 28 (1978), 350~362, 388~405にて一部発表した。

** 日鐵カーテンウォール株式会社 (東京都)。Nittetsu Curtainwall Corporation (Tokyo)。

押 出 条 件					
6063	ビレット寸法 直径×長さ (mm)×(mm)	ダイス寸法 (mmφ)	ビレット温度 (°C)	コンテナ温度 (°C)	押出速度 (mm/s)
直接押出法	70×230	10	475	400	47
間接押出法	70×230	10	400	400	47

第2図 押出ストロークの押出力に及ぼす影響

D : コンテナ直径(mm)

L : 予圧後のビレット長さ(mm)

μ : 摩擦係数

(2.1) 式より、直接押出法の押出力はコンテナの径と長さに影響するので押出力と押出ストロークの関係を第2図に示す。この図より分かるごとく、直接押出法による押出力は、押出ストロークが20 mm のとき59kg/mm²を要し、押出ストロークの長さが大きくなるとともに減少している。一方、間接押出法による押出力は、押出ストロークが10 mm のとき32kg/mm²を要しその後押出ストロークの長さが大きくなっても押出力はほぼ一定である。

従つて、押出ストロークのいかに問わず押出力は、直接押出法より間接押出法の方が小さい。また、直接押出法は、ビレット温度をビレット長さに対して一定で加熱して押出を行なう場合、押出初期に押出力を大きくしなればならず押出力を一定にした押出は難しい。

しかし、間接押出法では、ビレット温度、押出速度、押出力を一定の状態で行出すことができる。

次に、間接押出法は、第2図からビレットの変形抵抗と摩擦抵抗が相当小さいと考えられるので(2.1)式の右辺の第2項を省略する¹⁴⁾と間接押出法の押出力 P' は次のようになる。

$$P' = A \times \rho \times \log \frac{A}{a} \quad (2.2)$$

直接押出法に対する間接押出法の押出力の比率は、(2.1)(2.2)式から次式となる。

$$\frac{P'}{P} = \frac{1}{1 + \mu \times \pi \times D \times L \times \frac{1}{\log \frac{A}{a}}} \quad (2.3)$$

摩擦係数 μ は、第2図より $\mu=0.5$ と誘導されたので

第3図 直接押出力に対する間接押出力の比

この値を用い、ビレットを450℃に加熱後押しビレット長さおよびビレット径の比(L/D)に対する押出力比率の計算値と実験値は第3図に示す通りである。

本図の実線は、摩擦係数 $\mu=0.5$ とおいだときの L/D と押出比 A/a の値を(2.3)式より求めたもので、本図の白丸は押出比 $A/a=144$ 、黒丸は押出比 $A/a=52$ の実験値で第3図の実線と実験値はよく一致している。

この第3図の結果からいえば、間接押出法の押出力比率は35%となり同じ径で同じ長さのビレットを押出すときの押出力は、間接押出力に比べ直接押出力は3倍の力を要する。いいかえれば、間接押出法によれば押出力を少なくすまうことができる。

2.2 押出速度

4種類の合金を用いて、直接押出法と間接押出法におけるビレット温度および押出速度が押出材表面肌にかかる影響を及ぼすかを検討し、両押出法の同一ビレット温度時の押出速度を比較した。その結果を第1表に示す通り間接押出法は直接押出法に比べ押出速度が1.9~3.0倍早いことを示した。

第1表 直接押出法と間接押出法の押出速度比較

材料記号	ビレット温度 (°C)	直接押出速度 (m/sec)	間接押出速度 (m/sec)	間接比率 直接
2017	450	1.6	4.8	3.0
2024	400	1.0	3.0	3.0
5056	480	2.1	6.1	2.9
6063	450	4.3	>8.2	>1.9

2.3 ビレット温度

(2.1) 式に示すごとく、押出力はビレットの変形抵抗 ρ によつて影響されるので4種類の合金を用いて、直接押出法と間接押出法における押出力とビレット温度との関係を実験し、両押出法の同一押出時のビレット温度を比較した。その結果を第2表に示す通り、間接押出法は直接押出法に比べ各種アルミニウム合金とも50~60%低温で押出すことができる。

第2表 直接押出法と間接押出法のビレット温度比較

材料記号	押出力 (kg/mm ²)	ビレット温度 (°C)	
		直接押出法	間接押出法
6063	38	450	290
2017	80	500	250
2024	100	450	160
5056	95	500	260

押出比 $A/a=52$

2.4 ビレット長さ

直接押出法は、ビレットを長くすると(2.1)式や第2図で論じたごとく、コンテナとビレットの摩擦損失が大きくなるためビレットの長さに制約され一般的にビレットの長さとの比 (L/D) は3~4¹⁵⁾とされている。

一方、間接押出法については、コンテナとビレットの摩擦損失がないことを第2図で実証しているが、実際に5種類の合金を用いて間接押出力とビレット長さの関係

材料記号	ビレット温度(°C)	コンテナ温度(°C)	押出速度(1/s)	押出比
5056	300~330	400~450	0.5~5.0	52
2024	300~320	400~450	0.5~5.0	52
7178	250~260	320~450	0.5~5.0	52
Cu	850~900	450	1.5	52
2017	500~520	450	0.5~5.0	52
6063	410~430	400~450	0.5~5.0	52

第4図 各種アルミニウム合金による間接押出力とビレット長さの関係

を実験した。

その実験結果は、第4図に示す通りで、押出力はビレット長さに対して一定でありビレット長さに押出力が影響されないことから直接押出力に比べより長いビレットを押出すことができる。しかし、間接押出法に使用されるホースステムの長さによる屈折強度の限界および押出機の後面設備の長さの制約からビレット長さとビレット径の比 (L/D) は6までとされている¹⁴⁾。

以上の結果をまとめると、間接押出法は直接押出法に比べ押出初期と後期が一定である、押出力は35%低い、

押出速度は1.9~3.0倍早い、ビレット温度は50~60%低温押出ができる等の有利性を確認した。

3. 間接押出法のメタルフローの特性

C.E. Pearson と P.N. Parkins ら¹⁾が、直接押出法と間接押出法に関するメタルフローを押出段階での長手方向のビレット断面の写真(写真1)で指摘しているように、直接押出法の場合、メタルフローはビレット全体にわたって観察され、ビレットは押出初期においてもコンテナ内を全体に移動している。

(a) 直接押出法 (b) 間接押出法

写真1 直接押出法と間接押出法のメタルフロー

一方、間接押出法の場合、メタルフローは押出ストロークに関係なくダイス近傍のみに限られており、残部のメタルは加圧されたままとなっているため押出中均一であるが、一般的にビレット表皮層が押出材表面に巻込み不良として発生しやすいといわれている^{5), 11), 16)}。

T. W. Schmidt¹⁰⁾ や横田ら¹¹⁾の研究もまた、直接押出法によるメタルフローがビレット全体に流れているのに対し、間接押出法によるメタルフローはダイス穴開口部に対して短いと報告している。

そこで、これらのメタルフローを解明するために粘土をビレットとみなしたり、実際に1,800 t間接押出機を使用してビレット表面への巻込み状況を実験した。

3.1 粘土による押出実験

内径54.1 mmφの鋼管をコンテナにみなし、外径53 mmφの円形プレートを押盤または間接押出用ダイスにみなして、これを直接押出法と間接押出法に使いわけ、プラスチック*** (粘土) をアルミニウムビレットにみな

*** PLASTICINE Harbutts Plasticine Limited 製品による。

写真2 粘土をビレットにみなした直接押出法と間接押出法の流線

して流線を知るために白と黒の粘土を立方体に交互に組合せた被押出材を作り、押出力 直接 0.15 kg/mm^2 間接 0.13 kg/mm^2 、押出速度 0.83 mm/秒 、押出比28の押出条件で押出ストローク長さを3水準に区分して50 ton 引張・圧縮試験機で実験した。その実験結果は、写真2に示す通り、直接押出法はダイス近傍にデットメタル域が生じ押出ストローク10mm においてもビレット全体に流線が発生している。

これに比べ間接押出法は、押出ストロークの長さの変化に関係なくダイス穴開口部近くのみ流線が発生し、残部は押出ストローク初期においても流線の発生がみられず加圧されたままとなっている。

3.2 1800 ust 間接押出機による基礎実験

3.1の実験結果からビレット表皮層が押出材表面に発生しやすいことが類推された。

そこで、実際に1800 ust 間接押出機を使用してビレット表皮層の巻込み状況を実験した。すなわち、ビレットの表皮層片側5mm 切削除去した6063合金ビレットの外周部にビレット表皮層とみなした4043合金の1.6mmφワイヤを密に巻付け、この供試材をコンテナ(サイズ255mmφ×1,525mm)内に挿入し、押出すことによつて4043合金が適当な熱処理($300^\circ\text{C} \times 4$ 時間)と化学処理(脱脂等前処理後 $20^\circ\text{C} \times 100 \text{ g/l}$ の硫酸浴で30分)によつて黒灰色する性質を利用して4043合金ワイヤが押出材と押滓の中でどのように流線が発生するかを実験した。

第5図 実験用ダイス

実験用ダイスは、第5図に示す通り253mmφとし4穴アルミサッシ枠配置と1穴丸棒配置の2水準とした。

写真3は、28mmφ丸棒押出時においてビレット表皮層にみなした4043合金ワイヤの押滓中でのメタルフローに関する一例である。

4043合金表皮層のメタルフローは、押出全ストロークにわたりダイス近傍のみに限られており、残部はコンテナ内壁に加圧された状態のままとなっている。そして、ダイス面とある角度をなして6063合金ビレット内に流れ、4043合金ゾーンと6063合金ゾーンとは混ることなく連続してベアリング穴開口部へと流れている。いいかえれば、4043合金表皮メタルゾーンとダイス面との間には押出前のビレット前端部に相当する良質メタルゾーンと

(a) 押出開始時 $S=55/100$ (b) 押出終了時

写真3 6063合金丸棒間接押出における押滓中での4043合金ワイヤビレット表面のメタルフロ

写真4 丸棒断面に陽極酸化処理した後の顕微鏡写真

考えられる6063合金メタルゾーンが存在するが、押出ストロークの増加とともにその量は減少している。

このダイス面側良質メタルゾーンが残っていて、かつ、このゾーンが押出材表面へと流れクラッドしている間は、4043合金表皮ゾーンは押出材表面には現われてこないと考えられる。このようなクラッド効果は、押出材に陽極酸化処理を施すことによつて調査したが、28mmφの押出においては写真4に示すごとく全押出ストロークにわたつて丸棒断面には4043合金の黒灰色が表われておらず6063合金のシルバー色を呈し、4043合金ゾーンが6063合金ゾーンによつてサンドイッチ状にクラッドされビレット表皮層の巻込みは発生していない。

一方、4穴アルミサッシ枠の場合は、第6図に示す通りこのクラッド効果は押出ストロークの初期に多少みられたが、押出ストローク後期には巻込みが発生し不良率が悪化した。この理由としては、コンテナ内壁からベアリング開口部までの距離が短くダイス面側良質メタルゾーンの量が少ないためと考えられる。

3.3 1800 ust 間接押出機による操業実験

次に実生産上問題となる200~400μ程度の薄い逆偏析層を有する6063合金 DC 鋳造ビレットの表皮層を除去せずに種々の押出条件を変えて押出した場合、巻込み不良の発生防止がきり得るか否かについて操業実験を行なった。

項目	条件
プレス容量	1800ust x 255mmφ
ビレット径×長さ	242mmφ × 1070mm ^l , DC casting billet
コンテナ, ビレット温度	390°C, 460°C
押出速度, 押出比	40m ³ /min, 47.5
押出材	4H サッシ枠
押出本数	ビレット50P x 4H = 200 200x10点=総数2000

第6図 押出ストロークによる不良率の発生状況

テストダイス形状 D(mmφ) R(mm)	テストビレット (P)	押出材 (P)	不良率 (%)
251 6	20	640	0.8
251 6	20	640	3.9
253 3	20	640	12.1

ダイス径とダイス円周部コーナRの影響……251 mmφ × 6 mmRと253 mmφ × 3 mmRの2水準の第5図の4穴ダイスを用いて押出材の表面状況の実験結果は第3表の通りである。本表より、251 mmφ × 6 mmR のダイスで0.8~3.9%の巻込み発生率****で3%もの発生率が流出し実生産には不可能である。

押出材におけるビレット表皮層の巻込み深さの影響……253 mmφ × 3 mmR のダイスを用いて押出され、ビレット表皮層が巻込んでいることが確認されている押出材をJIS H 8601に準じ陽極酸化処理し、第7図に巻込み深さの分布を調査した。

本図のエッチング深さの算出は、エッチング前後の押出材重量を比較することによつて行なつた。

本図から分かる通り、10μ程度のところが最も巻込み発生率が高くエッチング処理時間にして4~6分に相当し、6063合金サッシ用型材を生産する場合の処理条件であり巻込み不良対策上問題がある。

ダイス穴配置の影響……第5図の4穴ダイスで#3の穴を埋ぎ3穴ダイスとし、このダイスを用いてビレットを押出しビレット表皮層の巻込み状況を調査した。

その結果は、ダイス穴の空いていない円周方向に偏芯し、ダイスとコンテナの間隔が小さくなり巻込み不良を

**** この不良率の判定は、著者が勤務する日鐵カーテンオール樹前橋製造所の検査規定に従って行なったものである。

第7図 ビレット表皮層の押出材断面への巻込み深さの分布

防止することはできなかった。

酸化皮膜の少ないビレットの押出実験……第5図の4穴ダイスで酸化皮膜の少ないとされている電磁場铸造ビレット（三菱化成株提供によるもの）とホットトップ铸造ビレット（昭和軽金属株提供によるもの）を押出し押出材の表面状況の調査を行なった。

その結果は、両ビレットとも目視による押出材表面の巻込み不良は発見されなかったが、陽極酸化処理を施すといずれもDC铸造ビレットを使用した場合は大きく異なるが白灰色のストリーク状が発生した。

R. W. Pickens は、間接押出法におけるビレット表皮層の押出材表面への巻込み不良を押出および陽極酸化処理条件の適正な設定によって防止できると報告している¹⁷⁾が、著者の実験・研究の結果から巻込み不良防止は非常に困難であることを明らかにした。

以上の結果をまとめると、間接押出法のメタルフローはコンテナ内壁からダイスベアリング穴開口部までの距離が長いほど、クラッド効果がありビレット表皮層が押出材表面に巻込み発生は生じないが、実際のアルミサッシ枠のような多穴ダイスではすべて巻込みが発生する。また、種々の適正な押出および酸化処理条件の設定によって巻込み不良防止は困難であり、特に6063合金サッシ材ではビレット表皮層を除去すべきと結論される。

そこで、著者らの考案したビレット表皮切削装置^{21), 22), 23), 24), 25)}でビレット表皮層を片側0.3 mm 除去することにより押出材の巻込み不良防止が可能となった。

4. ダイスおよび補助工具の特性と設計・開発

間接押出法は、直接押出法に比べコンテナとビレット間の摩擦損が少なく、プレス力量が有効に活用でき、大径・長尺ビレットが押出され量産効果があると提唱され

ている^{2), 5), 26), 27), 28)}が、ホローステムの強度上の問題から厚肉中空断面を有し押出材の有効断面積が制限され多穴材押出が困難である⁹⁾という欠点のためにその発展は大きく阻害されていた。

しかしながら、A. W. Mann²⁹⁾は、フィラーブロックとギャグブロックの考案により、これらの問題点の解決策の糸口をみつけた。すなわち、前者のフィラーブロックは、アルミ押出材通過孔の面積を大きくすることができ、後者のギャグブロックは、押滓零押出を可能にする。

著者が勤務する会社**は、これらの利点を持つ技術²⁹⁾（以下T・A・C式間接押出法****とよぶ）のアイデアを未完の状態で導入、1800 ust 間接押出機を操業させるに際しダイスおよび補助工具についての特性を調査し改善を加え、操業ラインで稼働させることができたのでその操業結果を報告する^{23), 24), 30), 31), 32)}。

4.1 T・A・C式間接押出法の原理

T・A・C式間接押出法の原理は、第8図に示す通りフィラーブロックとギャグブロックを有することである。

第8図一⑦のフィラーブロックは、従来の間接押出法に使用されているホローステムに代わるもので、パッカ

- ①プラテン ②シャーリング ③ボルスター ④ガイドチューブクランプ ⑤スペーサー ⑥ガイドチューブ ⑦フィラーブロック ⑧バックカー ⑨シーリングリング ⑩ダイス ⑪コンテナライナー ⑫コンテナタイヤ ⑬ビレット ⑭メタル ⑮ギャグブロック ⑯クロスヘッド

第8図 T・A・C式間接押出法の原理

ーと同様な押出材通過孔を有するブロック数個をシリーズに並べて鋼製のチューブに収めたもので、従来のホローステムよりも押出材通過孔を大きくすることができるとされている。

一方、第8図一⑮のギャグブロックは、従来のクロージングプレートに代わりにコンテナと同芯同径の穴がコンテナ側に開けてあり、押出圧のクッションの役割を果たし押滓零の押出が可能となる。

4.2 フィラーブロック

A. W. Mann²⁹⁾が考案したフィラーブロックの設計条

**** Texas Aluminum Co. の略で、考案者の A. W. Mann が勤務する会社名で同社が本技術の権利を保有している。現在は、社名が Texas Extrusion Co. と変更されている。

写真 5 は、実際に操作している1800 ust 間接押出機に使用しているフィラーブロックを示す。

4.3 ダイス

第8図一⑩に示すダイスは、コンテナ側のフィラーブロックの先端に取付られ、コンテナ内で加圧されたビレットはコンテナと一緒にダイスの方向へと移動する。

間接押出法のメタルフローは、3項で報告したごとくダイス近傍のみに限られており、ダイスにかかる力が均一であり、直接押出法とは逆にダイスの中心よりも円周の方がメタルは流れやすいことが 操 業 結 果 より判明した³⁰⁾。

従つて、ダイス穴配置は、フィラーブロックの受圧面積の減少と相まつてダスト外周近くまでの多穴ダイスを可能にした。次に著者らが考案したビレット表皮切削装置でビレット表皮層を除去したビレットで、ダイス外周部近くにダイス穴開口部を設けたダイスから押出されたアルミサッシ形材には巻込み不良が発生していない。また、1800 ust 間接押出機の操業結果より、直接押出法に比べ間接押出法のダイスは、ダイスベアリングの長さが短く、ダイス穴数が2～6倍となり生産性が向上し、ビレット円周方向の温度が不均一であつても押出形材の不揃いが生じず、押出形材の形状寸法が安定している、ダイス費が20～35%安い等の長所が挙げられる。

しかしながら、T・A・C 式間接押出法による中空材押出は、ギャグブロックを有するためにギャグブロック内のビレット残メタルとダイス内容着部ビレット残メタルが一体となつており、各々の切離が技術的に難しいとされていたが、ダイス内容着部の体積を小さくしたり、中空材の断面積の大きい形材押出には押搾有押出を実施したり、これら相互の組合せとギャグブロックの体積を変えること等の諸対策を講ずることにより、第11図に示すごとく複雑な中空断面を有するアルミサッシ無目材の押出を可能ならしめ第4表にその押出諸元を示す。

4.4 シーリングリング

第8図一⑨に示すシーリングリングは、押出時にダイス先端に取付けられダイス外周部の役割を果たすための工具であるが、コンテナ内径とは適当なクリアランスを設ける必要がある。

また、シーリングリングは、押出サイクルごとに取外され次の押出サイクルに入る前のコンテナ後退時にダイスがガイドチューブより抜け出ることを防止する役割をも果たすもので、押出サイクルごとの脱着は自動リングピッカーの考案により連続押出をも可能にした。写真 6 は、1800 ust 間接押出機に使用しているシーリングリングとダイスである。

(a)ガイドチューブに収められたフィラーブロック

(b)フィラーブロック

写真 5 種々のフィラーブロック

4.5 ガイドチューブ

第8図一⑥に示すガイドチューブは、フィラーブロックを内蔵させコンテナをスムーズに往復運動させることができないとしない。そのためには、硬鋼でかつ厚肉チューブが必要と考えていたが、チューブの内外径を切削加工しなければならず材料的にも高価になるので、軟鋼の引抜き鋼管で肉厚7～10mm 程度のものを使用しているが充分耐えており問題ない。

板厚: $t=1.3\sim 4.5$ mm 単重: 3.861 kg/m
断面積: 1430 mm² 周長: 645 mm

第11図 間接押出機で押出された複雑な中空断面を有するアルミサッシ無目材

第4表 T・A・C 式間接押出機による中空材の押出諸元

押出諸元	中空材 アルミサッシ無目材	アルミ丸パイプ	アルミ角パイプ
押出圧力 (kg/mm ²)	28	30	32
押出速度 (m/min)	30	35	20
最大外接円 (mm ϕ)	144	60	97
断面積 (mm ²)	1430	864	511
押 出 比	36	59	100

写真6 シーリングリングとダイス

4.6 ギャグブロック

第8図一⑮に示すギャグブロックは、メインラムにセットされたクロスヘッドに取付けられたもので、シーリングリングがコンテナ端面に至るまで押出すことができ

るので押滓零の押出が可能となり、押滓有押出に比べ歩留りが4%向上した。ただし、この押滓零押出は、著者が考案した。ビレット表皮切削装置でビレット表皮層を除去したビレットでの押出によるものである。

以上の通り、ダイスおよび補助工具についての作業結果から直接押出法に比べ、生産性、歩留り、コスト面で優れており経済性向上をもたらすことができた。

5. 設備の設計・開発

直接押出機と間接押出機が考案されてから約100年経過しており、その間直接押出機が著しく発展したのに対し、間接押出機は高力合金押出のごく一部にしか採用されていない。その理由は、次の通りである。

- (1) ビレット表皮層が押出材表面に巻込み不良として発生する。
- (2) ホローステムの長手方向の軸圧縮力、挫屈応力等強度的に問題がある。
- (3) プレス力量が有効活用できるにもかかわらず多穴押出ができない。
- (4) 押出プレス機構上の複雑さと押出サイクルに時間を要する。

以上の通り、これら諸問題により実用化されないまま今日に至っている。

そこで、著者らは、巻込み不良防止策としてはビレット表皮切削装置でビレット表皮層を除去し、ホローステムの長手方向の強度対策としてはガイドチューブの中に数個のフィラーブロックを収めることでこれを解消させ、フィラーブロックの採用により多穴押出を可能にした。

次は、押出サイクル時間を短縮させるために間接押出法の諸特性を生かした1800 ust 間接押出機を設計・設置し、その設備を使用しながら実験・研究を通して設備改善を加え解消させたのでその作業結果を報告する。

5.1 押出機本体

フィラーブロックとガイドチューブを採用した T・A・C 式間接押出機について、その特性からくる主な問題点の解決策を作業結果を通じて報告する。

第12図に1800 ust $\times$ 10" ϕ 間接押出機を示す通り、本装置の特徴とするところは1800 ust (1634 metric ton) の押出力量であるにもかかわらずコンテナが255 mm ϕ $\times$ 1,525 mm/と大径・長尺であることである。それがために押出サイクルでアイドルタイムとして80秒/サイクルと直接押出法に比べ約4倍の時間を要したが、自動的に脱着できるシーリングリングを考案することで55秒/サイクルまで短縮することができた。また、1,525 mm/ 長尺ビレットであるがためにビレットの長手方向に対して

①プラテン ②スペーサー ③ガイドチューブとフィラーブロック ④ダイピッカー ⑤ダイス ⑥コンテナ ⑦シャー ⑧ギャグブロック ⑨主ポンプ ⑩コンテナ用シリンダー ⑪サイドシリンダー ⑫主シリンダー

第12図 1800 ust 間接押出機の構造図

温度差が150℃生じたが、コンテナ端面に保護カバーとヒータを設けることにより20℃の温度差にすることができた。そして、コンテナ加熱方法としては、インダクションヒータ方式、スパイラルヒータ方式、シーズヒータ方式があるが、これらの中で最も安価であるシーズヒータ方式を採用したが問題は無い。

この他に、長尺コンテナであるビレット中央部が上昇するためコンテナ中央部から空気を吹き込みコンテナの温度分布を均一化させたが、6063合金ビレット押出の場合ここまで必要ないので実生産では採用していない。いいかえれば、間接押出法は直接押出法のようにビレット温度を均一にしくなくても押出性の影響はないことを実証した。

次に、間接押出は面圧が低いことからコンテナの寿命が長く、かつ、1800 ust 直接押出機のコンテナに比較して、1800 ust 間接押出機のコンテナは許容応力が25%少なく操業している。

5.2 後面設備

T・A・C式間接押出機は、前報のごとく多穴押出にて生産性の向上を計っているため、イニシャルテーブル上で疵つけないで案内できるセパレート兼用ローラ機構の装置を考案・実施することでこの問題を解決しアルミサッシ枠の4穴押出が可能となった。

また、ランナウトテーブルは、多穴材押出と大径・長尺ビレットに対処させるために幅広くかつ長いテーブルを設置することが望ましい。そして、多穴材押出の不揃いは直接押出法に比べ少ないがブラーを採用した方が得策である。

5.3 付帯設備

大径・長尺ビレットを加熱するインダクション方式のビレットヒータは、長手方向にビレットを均一に加熱することは難しくビレットの両端面に磁束が集中³⁵⁾し温度上昇する問題点が発生した。

そこで、1,300 kWのインダクションヒータの温度分布を調査するとビレットヒータの端面が中央部に比べ170℃高くなっていたので、ビレット前端は前端位置合せを行ない後端はビレットの代りにビレットと同一径のダミーロードをビレット後端にシリーズに押付けることによりこの問題を解決した³⁶⁾。

また、ビレット処理関係では、ビレット集積台からビレット表皮切削装置を経てインダクションヒータで加熱され、コンベヤ機構で間接押出機に供給されるまで完全に無人制御になっている。

この他に高生産性作業を処理するために形材自動切断機、形材自動積載装置、自動連続エージング炉、長尺ビレット切断機等自動・省力・合理化設備の設備が必要である。第13図は、実際に操業している1,800 ust間接押出設備の全体配置図を示す。

6. 生産性

押出機の実産性については、種々の算出方法があるが操業ラインとしては次式³⁷⁾で表わすことができる。

$$P = \frac{60}{\frac{L}{V} \times \frac{d^2}{D^3} + T} \times L \times w \times \delta_s \times \delta \times \rho \quad (6.1)$$

L: ビレット長さ (m)

①ビレット保管台 ②ビレット表皮切削装置 ③ビレットヒータ ④ビレット搬送コンベア ⑤ビレット温度測定器 ⑥プレス本体 ⑦ダイヒータ ⑧ダイ工具取付用ホイス ⑨ガイドチューブ、フィラーブロック加熱炉 ⑩イニシャルテーブル ⑪ランナウトテーブル ⑫クーリングテーブル ⑬ワンマンストレッチャー ⑭ストレージテーブル ⑮ソーチャージテーブル ⑯切断屑運搬ホイス ⑰自動切断機 ⑱切削屑一時保管場 ⑲ソーゲージテーブル ⑳インスペクションテーブル ㉑空パレットコンベア ㉒材形自動積載装置 ㉓積載済パレットコンベア ㉔自動連続エージング炉

第13図 1800 ust 間接押出機の全体配置図

第 5 表 A6063 合金押出時の直接押出法と間接押出法の生産性比較

項 目	直接押出法	間接押出法
1. 押出機 (容量×コンテナ径) (ust)×(mmφ)	1650×200	1800/255
2. 押 出 形 材	アルミサッシ上枠	同 左
3. ビレットサイズ (径×長さ) (mmφ)×(mm)	192×575	244×1060
4. ダ イ ス 穴 数	2	4
5. 押 出 比	58.4	47.5
6. 押 滓 厚 さ (mm)	20	0
7. ビレット単重 (kg/m)	78.712	127.121
8. 押出機アイドルタイム (sec/C)	20	55
9. 押出時平均ラム速度 (m/min)	0.64	0.53
10. ビレット表皮切削厚さ (片側) (mm)	0	0.4
11. ビレット表皮切削歩留り (%)	100	99.35
12. 押出～切断歩留り (含検査) (%)	88	90
13. 稼 動 率 (%)	91	90.5
14. 型直率 (整直率) (%)	10	5
15. 総 合 歩 留 り (%)	88	89.4 (09935×0.9)
16. 単位実働時間当りビレット本数 (p/Hr)	≒35	≒22
17. 生 産 量 (kg/Hr)	1269	2391
18. 生 産 量 の 比 較	1.0	1.9

w : ビレット単重 (kg/m)
 D : コンテナ内径 (mmφ)
 d : ビレット外径 (mmφ)
 V : 押出時の平均ラム速度 (m/min)
実押出時全ストローク平均値
 T : 押出機アイドルタイム (min)
ビレット 1 プッシュ当り
 δ_s : ビレット切削歩留り (%÷100)
 δ : 押出から切断までの歩留り (%÷100)
 ρ : 稼動率 (%÷100)
稼動時間に対する実働時間の割合

ここで P は、直接押出法と間接押出法の 1 時間当り押出させる押出材の重量を表わしており、両押出法における同一の 6063 合金のサッシ用上枠 (断面積 269 mm², 外接円 72.1 mm, 単重 0.726 kg/m) を押出生産した結果を第 5 表にまとめた。

なお、第 5 表の押出機容量が、直接法 1,600 ust×200 mmφ、間接法 1,800 ust×255 mmφ と異なるが、実際の主ポンプ吐出量は各々 450 l/分×2 基と 470 l/分×2 基ではほぼ同一であるため両者を比較対象とした。

以上の結果から、直接押出法に比べ間接押出法の 6063 合金による生産性は 2 倍の実績を示した。

7. あとがき

間接押出法は、早くから直接押出法に比べプレス力量が有効に活用できると提唱されながらも、押出材表面にビレット表皮層が発生することとホローステムの強度上から多穴材押出ができない問題点で今日まで大きく発展を阻害されていた。

にもかかわらず、その解明にあたつては皆無といつていいほど研究発表がされておらず米国のアルミ押出会社でノウハウとしてたくわえられているに過ぎなかつた。

本報告は、これら諸問題を解決させるために操業を通じて実験・研究し、間接押出法の諸特性を充分考慮した上でダイス・補助工具および設備を設計・設置し、その実用化についてまとめたものである。

また、本報告に一部紹介しておいたが、一般的にT・A・C式間接押出法は中空押出材の押出が装置の機構上難しいとされていたが、本間接押出機での中空押出材の押出を可能ならしめ、引続き量産化への研究を進めている。

この他に、T・A・C式間接押出機を実際に操業してみると押出のアイドルタイムが長く、フィラーブロックの共用化の制限に問題点が生じており、現在その諸対策を講じている。

そして、過去間接押出法が高力合金のみに採用されていたが、これら諸問題を解決させることにより6063合金押出にも無類の力を発揮するであろう。

最後に、過去間接押出法に関する研究発表は数少ないが、本報告により間接押出法の特性とその実用化に関する基盤を確立させ、将来のより詳細な研究の素地を養いアルミニウム産業への広汎な適用に役立たんことを願つてやまない。

参 考 文 献

- 1) Pearson & Parkins: The Extrusion of Metals, (1960), 3, 150, 169.
- 2) E. Müller 山口訳: 液圧押出プレス, 養賢堂, (1963), 64.
- 3) 森永: アルミニウムおよびその合金の押出加工, 軽金属協会編, (1970), 1, 2.
- 4) 横林, 諸岡, 金井: Al-ある, 12月号, (1978), 3
- 5) 尾形, 他: J.S.W TECHNICAL REVIEW, No. 31~42.
- 6) R. A. Keret: *Light Metal. Age.*, April, (1973), 6~10.
- 7) W. Ziegler and K. Siegert: *Z. Metallkde.*, 64 (1973), 224~229.
- 8) 岸野: 産業機械, 8月号 (1973), 22, 31.
- 9) 浅野: アルミニウムの押出加工, 軽金属協会編, (1977), 2~5, 20.
- 10) T. W. Schmidt: 2nd International Aluminum Extrusion Technology Seminar, (1977), 24.
- 11) 横田, 林: 住友軽金属技報, October, (1974), 77, 80, 306.
- 12) 村上, 亀井: 非鉄金属材料, 朝倉書店, (1978), 9.
- 13) E. Siebel & E. Fangemeir: Researches on Power Consumption in the Extrusion and Puching of Metal, Mitt. K.W. Inst. für. Ecsenforschung, (1931), 29~43.
- 14) A. Asari: 2nd International Aluminum Extrusion Technology Seminar, (1977), 150.
- 15) 岸野: 間接押出プレス, 産業機械, (1973), 22, 28.
- 16) K. Lauc and H. Stenger: STRANGPRESSEN Verfahren-Mashinen-Werkzeuge, (1976), 66, 67.
- 17) R. W. Pickens: 2nd International Aluminum Extrusion Technology Seminar, (1977), 92~94.
- 18) 横林, 千葉, 諸岡: 軽金属, 28 (1978), 350~356.
- 19) 林: 特許公報, 昭52—17816
- 20) 浅利: 特許公報, 特開昭49—115061.
- 21) 横林, 千葉, 諸岡: 軽金属, 28 (1978), 357~362.
- 22) 横林, 望月, 諸岡: FPO 日本学術振興会, 8月号 (1978), 43~46.
- 23) H. Yokobayashi: 2nd International Aluminum Extrusion Technology Seminar, (1977), 115~121.
- 24) 横林, 他: Al-ある, 12月号・1月号, (1978・1979), 3~16, 56~61.
- 25) H. Yokobayashi: *Light Metal. Age.*, June, (1979), 10, 12, 14.
- 26) R. Anderson: *Light Metal. Age.*, April, (1970), 24~26.
- 27) K. F. Ziehm: *Light Metal. Age.*, Dec., (1970), 6~10.
- 28) 谷口, 浅野: 軽金属, 22 (1972), 427~435.
- 29) A. W. Mann: PAT. No. 2156871, U. S. No. 3735623, 3727448.
- 30) 横林, 千葉, 諸岡: 軽金属, 28 (1978), 388~396.
- 31) H. Yokobayashi: *Aluminum*, 55 Jahrg (1979), 405, 406.
- 32) 横林ら: 軽金属学会第53回秋期大会前刷, (1977), 91~92.
- 33) 中沢: 材料力学入門, 産業図書, (1966), 112~115, 169.
- 34) 紀田: アルミニウムの押出加工, 軽金属協会編, (1977), 52.
- 35) 星加: 神戸製鋼所技報 R & D, 22 No. 3 (1972), 88~93.
- 36) 横林, 千葉, 諸岡: 軽金属, 28 (1978), 397~405.
- 37) 野依: 金属, 6月号 (1974), 41.