間接押出法のダイスと補助工具*

横林 寛昉**・千葉 正***・諸岡 淳一郎**

Die and its auxiliary tools for indirect extrusion*

UDC 669.715 : 621.777 : 621.7.073

Hiroaki YOKOBAYASHI**, Tadashi CHIBA*** and Junichiro MOROOKA**

The strength of a conventional hollow stem restricts the maximum circumscribed circle of an extrusion resulting in difficulty in multi-holes indirect extrusion. Development of a filler block was the first step toward the solution of this problem. A multi-holes die has been developed through calculations and practical operations in which the metal follow occurs only in the vicinity of die for indirect extrusion. This was achieved by reducing the pressurized area and extending the area of extrusion path using a filler block having high buckling strength and machinability. Such a development ensures further productivity, cost reduction of dies, and more stability in dimensional accuracy and increasing the yield of extrusion than in the direct extrusion.

(Received March 20, 1978)

1. 緒 言

直接法に比べて間接法の有利性は、コンテナとピレット間の摩擦損がなく、プレス力量が有効に活用でき、大径、長尺のピレットが押出せる等数々提唱されている^{1)~4)}が、ホローステムの強度上の問題から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⁵⁾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、1972年 A. W. Mannはフィラーブロックとギャグブロックの考案⁶⁾により、これらの問題の解決策の糸口をみつけた。即ち、前者のフィラーブロックはアルミ押出材材通過孔の面積を大きくすることができる。一方、後者のギャグブロックは押粕零押出を可能にする。

著者らは、これらの利点をもつ技術(以下 T. A. C. **** 式間接法と呼ぶ)を未完の状態で導入し、1800 U. S. ton 間接押出機を操業させるに際し、ダイスと補助工具についての特性を調査するために独自の研究を重ねた。本報ではその操業結果を報告する。

2. T.A.C. 式間接法の原理および特性と問題点

2.1 原 理

フィラーブロックとギャグブロックを有する T. A. C

式間接法の原理を Fig. 1 に示す。フィラーブロックは、従来のホローステムに代るもので、バッカーと同様な押出材材通過孔を有するブロック数個をシリーズに並べて鋼管に納めたもので、ホローステムよりも押出材材通過孔を大きくすることができる。一方、ギャグブロックは Fig. 2 にも示すように、コンテナと同芯同径の穴がコンテナ側に開けてあり、押出圧の緩衝材の役割を果し、押粕零の押出が可能となる。

著者らは、これらの利点をもつ T. A. C. 式間接法を未完の状態で導入し、その実用化に際し、ダイスと補助工具の特性と問題点を研究した。

2.2 特性と問題点

2.2.1 フィラーブロック

Fig. 1 に示すフィラーブロックは、ホローステムに代るもので、バッカーと同様な押出材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ガイドチューブに納めたものである。

このフィラーブロックは押出力をボルスターとプラテンに正確に伝える役割を有しているので、フィラーブロックやガイドチューブの破損を防止するためには、受圧面積や両端面の直角度と平行度の精度が重要なポイントとなる。フィラーブロックの破損のパターンは Fig. 3 の通りと考えられる。また、押出材材通過孔の内面加工

* アルミニウム合金の間接押出法の研究(第3報)軽金属学会第53回秋期大会(52-11)にて一部発表した。

** 日鐵カーテンオール(株)(東京都)。Nittetsu Curtainwall Corporation (Tokyo)。

*** 日鐵カーテンオール(株)(前橋市)。Nittetsu Curtainwall Corporation (Maebashi)。

**** A. W. Mann が所属する Texas Aluminum Corp. の略。

Fig. 1 Principle of indirect extrusion process using filler block and gag block.

Fig. 2 Gag block for extrusion without butt.

Fig. 3 Failure pattern of filler block

も、押出型材のキズ防止のために仕上げ精度に注意しなければならない。

2.2.2 ダイス

Fig. 1 に示す通り、コンテナの一端は、クロスヘッドの先端に取付けられたギャグブロックによつてシールされ、また、ギャグブロックと反対側のプラテンにはガイドチューブが取付けられ、その先端にダイスがセットされる。押出力はギャグブロックを介してコンテナ、ビレ

ットへと伝えられ、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。即ち、押出型材はダイスの相対的進行方向とは逆の方向へと押出される。従つて、間接法ではコンテナとビレットとの摩擦損がなく、Photo 1 の通りメタルフローはダイス近傍のみに限られており²⁾、押出型材寸法の高い精度とダイス設計と修正の容易性が期待できる。

しかしながら、間接法の利点である大径、長尺ビレットを使用するためには、ビレット円周部の温度を均一にしなければ、多穴押出型材の長さが不揃い*になる。

2.2.3 シーリングリング

Fig. 1 の通り、シーリングリングは押出時にダイスの

* ハンディとも呼ばれる。

Photo 1 Metal flow in indirect extrusion

生端に取付けられ、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毎に取り外され、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。もし、シーリングリングを使用しなければ、ダイスをガイドチューブに固定するか、1サイクル毎にダイスを取外すか、いずれかの方法を探らざるを得ない。前者では、押出終了後次押出サイクルのためにコンテナを後退させる時のダイスフランジ外周部とコンテナ内壁のスカルの摩擦によるトラブルを解消しなければならない。後者では、押出終了後ダイスを取出すときのダイスと押出型材の分離という作業上の大きな問題がある。いずれも大きな問題があり、シーリングリングの考え方は効果的である。しかしながら、このシーリングリングを押出1サイクル毎に手動で脱着するとアイドルタイムの増加や作業安全性の面で問題となり、対策を要する。

2.2.4 ガイドチューブ

Fig. 1 に示すガイドチューブはフィラーブロックを内蔵し、コンテナをスムーズに往復運動させることができないなければならない。

2.2.5 ギャグブロック

Fig. 2 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るもので、コンテナと同志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、シーリングリングがコンテナ端面に至るまで押出せるので、押粕零の押出が可能とな

る。しかしながら、コンテナとギャグブロックのシール面からのメタルのはみ出しやコンテナやフィラーブロック等が加熱され、熱膨張している状態での押粕零の位置合わせには充分考慮が必要であらう。

2.2.6 ボルスター

フィラーブロックからの押出力を全て受けているので、穴形状等受圧力を充分考慮しなければならない。

3. 操業結果と経済性

3.1 フィラーブロック

間接法は、プレス力量が有効に活用できる等の利点を有しているにもかかわらず、ホローステムの強度上の問題から押出型材の最大外接円が小さくなり、多穴材押出が困難である⁵⁾とされ、高力合金の押出等極く一部の押出に採用されるにとどまっていた。

しかしながら、この問題はフィラーブロックの採用によつて実際に解決できた。まず、著者らが採用している1800 U.S. ton 間接押出機と同様な従来法の間接押出機を比較するために、外径 $D = 242 \text{ mm}^\phi$ × 平行部長さ $l = 1700 \text{ mm}$ で圧縮強度 $\sigma_0 = 100 \text{ kg/mm}^2$ のホローステムの内径 $d \text{ (mm}^\phi\text{)}$ を計算する。ホローステムは押出力 $P_k = 1800 \text{ U.S. ton}$ によって変形を受けるが、その相当細長比

$$\lambda' = \frac{l}{\sqrt{n}} \times \frac{1}{k}$$

$$\text{ただし} \begin{cases} \text{断面2次係数 } k = \frac{1}{4} \sqrt{D^2 + d^2} \\ n = \frac{1}{4} \dots \dots \text{破壊様式による係数} \end{cases}$$

は $d = 0$ のとき $\lambda' = 56$ であり, Rankine の式が使用できるので, 座屈強度 σ'_R は次式で表わすことができる。

$$\sigma'_k = \frac{\sigma_0}{1 + a\lambda'^2} \quad (a = 1.33 \times 10^{-4})$$

なお, ホローステムにかかる押出圧は次の通りである。

$$\frac{P_k}{1.1 \times \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)} = \frac{1800 \times 10^3}{1.1 \times \frac{\pi}{4} \times (242^2 - d^2)}$$

よつて, 押出力量に耐え, 座屈を起こさないためのホローステムの肉厚 d は次式を満足するものでなければならない。

$$\frac{\sigma_0}{1 + a\lambda'^2} = \frac{P_k}{1.1 \times \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)}$$

本式を計算すると, ホローステム内径としては $d = 179 \text{ mm}^\phi$ となり, 肉厚は 31.5 mm 必要となる。実際上は安全率を見込んで 38 mm 位の肉厚で使用する場合が多い。肉厚 31.5 mm の場合で, ホローステムの受圧面積当りの許容圧力は,

$$\frac{1800 \times 10^3}{1.1 \times \frac{\pi}{4} \times (242^2 - 179^2)} = 48.4 \text{ kg/mm}^2$$

となる。一方, フィラーブロックの操業結果としては, 材質 SKD 62 およびこの相当品で受圧面積当り 120 kg/mm^2 まで操業可能であることが判明した。

以上の通り, フィラーブロックは従来のホローステムと比べ, 受圧面積が小さくてよいことを物語っている。言い換えれば, 座屈強度の向上と機械加工の容易性とが相まって受圧面積を減らし, 押出形材通過孔の面積を大きくした。但し, 操業上の設計条件としては, 外周部最小肉厚 20 mm 以上, 穴間支持部肉厚 12 mm 以上として, 製作し操業している。

一方, 材質面では従来のホローステムの場合, 長手方向に対する軸圧縮応力, 座屈応力, 温度等を考慮してマルエージング鋼⁹⁾ という高価な材料の使用をも検討しなければならないが, フィラーブロックでは上述の通り S

KD 62で十分であることが判明した。

また, フィラーブロックの1個当りの長さは, 機械加工技術および取扱い等を考慮して $100 \sim 300 \text{ mm}$ 程度に決めたので, 複雑な通過孔を高い精度で制作することが可能となり, いかなるダイス穴配置をも可能にすることができたとともに押出形材通過孔の内面仕上げ精度を高め, 押出形材のキズ発生を防止することができた。併せて, 同内面にカーボン系潤滑剤を塗布することにより押出形材の表面品質をなお一層向上させることができた。

Photo 2 にそのフィラーブロックを示す。

著者らは, このような利点をもつフィラーブロックを実用化することができたので, ダイスの多穴化の見通しがついてきた。

3.2 ダイス

Photo 1 の通り, 間接法のメタルフローはダイス近傍のみに限られている⁷⁾ ので, ダイスにかかる力が均一であり, 操業結果によれば, ダイス穴配置は外周近くまで可能となり, フィラーブロックの受圧面積の減少とが相まって多穴押出が可能となつた。**Table 1** は直接法とフィラーブロックを用いた間接法の多穴ダイスの穴配置の操業例を示すものである。これは, 押出力がほぼ同じ 10^ϕ コンテナの間接法と 8^ϕ コンテナの直接法を比較したものであるが, 約 $2 \sim 6$ 倍の多穴化を計ることができた。但し, 間接法に於けるこれらの配置は, 著者らが研究開発したビレット表皮切削装置⁹⁾ 等でビレット表皮層が除去された後押出機に供給され, 巻込不良が発生しない場合にのみ可能である。**Photo 3** にアルミサッシ枠材のダイス多穴配置例を示す。

ここで, 多穴ダイスの場合, 押出材長さの不揃いが問題となる。その原因としては, ビレット温度のバラツキ, ダイス製作のバラツキ, 各穴のメタル供給量の相違等が挙げられる。その一つであるコンテナ円周方向の温度のバラツキをとりあげると, **Fig. 4** に示すようなコン

(a) several cross-sections

(b) one piece of filler block (side view)

Photo 2 Examples of filler block

Table 1 Comparison of number of holes in die between direct and indirect extrusions.

EXTRUDED SHAPE		DIRECT		INDIRECT		RATIO
FIGURE	C.C.D.		Nd		Ni	$\frac{Ni}{Nd}$
80mm		2		4	2
90		1		3	3
63		1		6	6
31		4		8	2
		8" ϕ container		10" ϕ container

Photo 3 Examples for opening of bearing in indirect extrusion die. (in case of using filler block and guidetube in stead of hollow stem)

テナはシーズヒーターエレメントのターミナル部等の影響から温度分布は完全に均一ではない。そのために、温度の高い円周方向は押出され易くなるが、間接法の場合メタルフローが簡単なためその傾向は一定しており、ベアリング長さ*の調整に留意することにより、押出形材長

さの不揃いの問題は解決できた。また、各穴のメタル供給量を均一にするためにダイス穴配置はバランスをとるとともに、押出形材が安定した状態で押出せるように配置することが大切である。

そして、間接法の場合 直接法のダイスに比べ、ベア

* ダイス穴開口部の形材成形部の長さ。

Fig. 4 Circumferential distribution of container temperature.

Fig. 5 Relation between extrusion ratio and mean ram speed. in case of extruding shapes for 6063 alloy window sash having 0.8~2 mm wall-thickness by 1800 U.S. ton $\times 10^{70}$ indirect extrusion press.

リング長さの変化がさほど必要でないので全体的にベアリング長さを短くすることができる等のダイス設計製作上のメリットも得られた。

一方、ダイス面から生産性を考えると押出比との関係が重要である。Fig. 5 に操業結果としての押出比と平均ラム速度との関係を示すが、押出比が高くなると平均ラム速度が低くなり、生産性が低下している。これは、1800 U.S. ton $\times 10^{70}$ コンテナの間接押出機で6063合金ソリッド形材を押出した場合の結果であるが、押出比は70以下が望ましい。

次に、間接法は直接法に比べメタルフローが均一であるから、押出形材の形状が安定している。Fig. 6 は、直接法に於いて押出材頭部から尾部にかけて非常に形状が変化し易い押出形材をモデルとし、直接法と間接法の寸

Fig. 6 Change of contour of direct and indirect extruded shapes.

法変化を比較したものである。すなわち、間接法の方がその変化量は少ない。これは操業結果の一例であるが、操業全体をみても形直率*が5%以下になっており、直接法よりも良好な結果となつている。

それに間接法によるダイスは、ベアリング面のかじり**現象が少なく、コーナークラックの発生も直接法に比べ減少しており、操業上ダイス寿命と押出材の品質向上に良好な結果をもたらしている。

このような特性をもつた間接法のダイスは、著者らが実際に操業している直接法のダイスに比べ経済性の面に於いても有利であることが判明したのでその結果をTable 2 に示す。

Table 2 の通り、間接法の場合、直接法より押出形材の穴数が2~6倍と多いために1枚当りのダイス費は2.5~3倍と高くなっているが、ダイス寿命***からみる

* 押出、整直および定尺切断後、形材形状が悪いために、ロール矯正される形材本数の割合。

** 虫食いともいう。

*** ダイス1個当りの押出トン数。

Table 2 Comparison of die running cost

Extruded shape	Output		Direct extrusion						
	1 shift	2 shifts	Die life t/p	Stock	Held dies number		Unit price of die	Dies cost	
	t/M ①	t/M ②			$⑤ = \frac{①}{③} \times ④$	$⑥ = \frac{②}{③} \times ④$		$⑧ = ⑤ \times ⑦$	$⑨ = ⑥ \times ⑦$
# 1	49.6	99.1	12	2	8	16	1.35	10.80	21.60
# 2	49.6	99.1	12	2	9	17	1.35	12.15	22.95
# 3	21.6	43.3	12	2	4	8	1.35	5.40	10.80
# 4	17.3	34.6	12	3	5	9	1.35	6.75	12.15
# 5	35.4	70.8	13	2	6	11	1.35	8.10	14.85
# 6	33.0	66.1	10	2	7	14	※1 1.0	7.00	14.00
# 7	22.9	45.8	12	2	4	8	1.35	5.40	10.80
# 8	10.0	19.9	12	3	3	5	1.35	4.05	6.75
# 9	17.5	35.1	12	2	3	6	1.45	4.35	8.70
#10	25.2	70.3	12	2	5	9	1.10	5.50	9.90
#11	11.6	23.3	8	2	3	6	1.35	4.05	8.10
#12	11.0	22.0	9	3	4	8	1.03	4.12	8.24
TOTAL	304.7	609.3			61	117		77.67	148.84

REMARK: The unit price of die is indicated by the coefficient when ※1 is 1.0.

Photo 4 Indirect extrusion die and sealing ring.

と間接法の方がダイスランニングコストは安い。Table 2 では、*1 のダイス単価を 1.0 の係数で表わしているが、仮にこのダイス単価を 4 万円/枚とするとダイス費の差異で間接法の方が、生産量 1 直分の場合 *2 約 60 万円/月、2 直分の場合 *3 約 150 万円/月のメリットがある*。

3.3 シーリングリング

ダイスがガイドチューブより抜けることを防止するシーリングリングは、押出サイクル毎に脱着しなければならないので、内径はダイスと容易に脱着できるとともにメタルがダイスとシーリングリングの隙間に入らないよ

うな形状にしなければならない。

また、アイドルタイムの増加を最小限に押さえ、また作業の安全性を高めるためにリングピッカー¹⁰⁾での自動脱着を可能にし、また連続押出をも可能にした。Photo 4 にそのシーリングリングを示す。

3.4 ガイドチューブ

設置当初、ガイドチューブは硬鋼の材料の使用を検討していたが、種々の条件下で操業実験したところ、ガイドチューブ自体に直接押出力が負荷される訳ではなく、ダイスライドにセットされた場合にフィラーブロックの重量に耐えられ、またボルスター側でのクランプによってフィラーブロックを水平に保つことができる材料であればよいことが判明した。それで、現在では軟鋼の引抜き鋼管で肉厚 7 ~ 10 mm 程度のものを使用しているが十分に耐えており、問題ない。Photo 5 に現在使用している軟鋼引抜き鋼管のガイドチューブを示す。

3.5 ギャグブロック

押粕零の位置合わせは、コンテナ、フィラーブロック等が加熱され熱膨張しているので計算通りにはいかないが、Fig. 1 のスペーサーの厚さを調整することによって数度のトライアルで解決した。なお、ギャグブロックとコンテナの芯合わせは当然必要なことであるが、ギャグブロックの破損を防止するために、押粕零の位置合わせは、コンテナのギャグブロック側端面と、ダイスのビレット接触面とを面一にするか、後者を前者より 1 ~ 2

* Table 2 の stock は生産何ヶ月分のダイスを保有するかを示す。

between direct and indirect extrusions.

Indirect extrusion							Difference of dies cost	
Die life t/p ③'	Stock ④'	Held dies number		Unit price of die ⑦'	Dies cost		⑩= ⑧-⑧'	⑪= ⑨-⑨'
		$⑤' = \frac{①}{③} \times ④'$	$⑥' = \frac{②}{③} \times ④'$		$⑧' = ⑤' \times ⑦'$	$⑨' = ⑥' \times ⑦'$		
52	2	2	4	3.38	6.76	13.52	4.04	8.08
48	2	3	5	3.38	10.14	16.90	2.01	6.05
48	2	1	2	3.38	3.38	6.76	2.02	4.04
48	3	2	3	3.38	6.76	10.14	0	2.01
39	2	2	4	3.07	6.14	12.28	1.95	2.57
60	2	2	3	3.07	6.14	9.21	0.86	4.79
48	2	1	2	3.38	3.38	6.76	2.02	4.04
48	3	1	2	3.38	3.38	6.76	0.67	0
56	2	1	2	4.28	4.28	8.56	0.07	0.14
56	2	1	2	4.28	4.28	8.56	1.22	1.34
48	2	1	1	3.95	3.95	3.95	0.10	4.15
54	3	1	2	3.95	3.95	7.90	0.17	0.34
		18	32		62.54	111.30	※2 15.13	※3 37.55

Photo 5 Guide tube for 10"φ container

Photo 6 Bolster in case of 4 holes

mm 程度後退させた位置に設定すべきである。これで十分ギャグブロックのシフトダウンは可能であり、押粕零の押出ができる。

3.6 ボルスター

ボルスターの穴形状は、フィラーブロックからの押出力を受けるので、フィラーブロックの押出形材通過孔と同一に近づけて、フィラーブロックを支持する面積を増すように考慮することが重要である。Photo 6 にボルスターの一例を示す。

以上の通り、ダイスと補助工具についての操業結果と経済性について報告したが、著者らの実験結果からこれらの設計基準と留意点を Table 3 にまとめた。

4. 結 言

本法の操業結果をまとめると下記の通りである。

- (1) フィラーブロックによる座屈強度のアップと機械加工の容易性が相まって、従来のホローステムに比べ受圧面積を減少させ、押出形材通過孔を大きくすることができる。
- (2) フィラーブロックの共用化と材料のコストダウン
あらかじめ間接押出機で押出す形材断面を選定しておくと、フィラーブロックの共用化が計れ、経済的である。また、フィラーブロックは半永久的に使用でき、材質も SKD 62 で十分耐えることができる。
- (3) 間接法のメタルフローの特徴の活用とフィラーブ

Table 3 Design standard and matters that demand special attention of indirect extrusion die and its auxiliary tools.

Items	Design standard and matters that demand special attention
Die	<ul style="list-style-type: none"> Balanced arrangement of holes in die Extrusion ratio ≤ 70 (recommendable) Semi-automatic change by means of ring-picker
Sealing ring	<ul style="list-style-type: none"> Hardness $\leq$ container liner Automatic handling by means of ring-picker Clearance between container wall and sealing ring (one side) ≤ 1 mm
Gag block	<ul style="list-style-type: none"> Metal hole: dia = same as container, depth = 75 mm (in case of 255 mmϕ dia) Special attention to the seal with container Heating temperature is same as container.
Guide tube	<ul style="list-style-type: none"> Material : drawn tube of mild tube Inner diameter of high tolerance
Filler block	<ul style="list-style-type: none"> Working of high tolerance Length of one piece = 200 ~ 350 mmϕ Hardness = backer
Bolster	<ul style="list-style-type: none"> Shape of holes is same as filler block but a little larger than it.

ロックの採用による押出形材通過孔面積の増大により、直接法に比べ2～6倍の多穴化が計れ、生産性が向上した。また押出対象形材の押出比を70以下に押さえることにより生産性向上が計れた。

(4) ダイスの寿命が長く、コスト安である。

間接法の場合、ダイスベアリングを短くできるのでダイス面のかじりがなく、ダイス寿命は直接法の同断面に比べ3～6倍長い。また、ダイスベアリング長さの変化が少なく、設計が簡素化され、ダイスランニングコストも直接法に比べ20%安い。

(5) 押出形材の寸法精度が安定している。なお、形直率も5%以下と直接法よりも良い。

(6) ガイドチューブは軟鋼の引抜き鋼管で十分である。

(7) ギャグブロックの採用により歩留りが向上した。
コンテナと同芯同径の穴をコンテナ側に有するギャグブロックは押出圧のクッションの役割を果たし、押粕零の押出を可能にした。

以上の通り、フィラーブロックとギャグブロックを採

用した間接法のダイスと補助工具は直接法に比べ生産性、歩留り、コストの面で秀れており、経済性向上という結果をもたらすことができた。

参 考 文 献

- 1) 尾形, 岸野, 阿部, 田村: 日本製鋼所技報 *J. S. W. Technical Revival Review*, No. 31, 34
- 2) R. Anderson: *Light Metal Age*, Apr. (1970), 24
- 3) K. F. Ziehm: *Light Metal Age*, Dec. (1970), 6
- 4) 谷口, 浅野: 軽金属, **22** (1972), 427
- 5) 浅野: アルミニウムの押出加工, 軽金属学会 (1977), 20
- 6) A. W. Mann: PAT. No. 2156871, U.S. No. 3735623, 3727448
- 7) C. E. Person, R. N. Rarkins: *The Extrusion of Metal*, (1960), 169
- 8) 紀田: アルミニウムの押出加工, 軽金属学会 (1977), 52
- 9) 横林, 千葉, 諸岡: 軽金属, 投稿中
- 10) 横林, 千葉, 諸岡: 軽金属, 投稿予定