アルミニウム棒および管

高林 篤夫*

Aluminum rod and tube

Tokuo TAKABAYASHI*

1. はじめに

アルミニウム管棒製品は、アルミニウム圧延品の板、形材の次に多く量産されているものである。

アルミニウムおよびアルミニウム合金のJIS適用合金に関する管棒製品の用途を表1に示すが、多岐にわたって使用されているとはいえ、まだ鉄のような基礎資材といわれる程度には、残念ながら至っていない。

アルミニウム管棒製品は、機械加工されて、自動車、電気、機械、カメラ等の部品に使用されるのがほとんどである。

表1の用途とあわせて、現在標準的に製造されている各種合金ごとの質別を表2に示す。

管棒製品の生産実績については、引拔管が一番多く、引拔棒、押出棒、押出管の順位となり、溶接管が最も少ない。

昭和51～55年までの生産実績および、最近の昭和56年度における4～10月までの国内生産実績を表3に示す。

次項以下に現在最もよく用いられている製造方法の概略について説明する。

2. 押出熱間加工

2.1 押出の種類

コンテナーの中にピレットを挿入し、ダイスの穴から押出す熱間加工を押出加工といい、我が国における代表的な押出機の例を写真1に示す。

この押出加工に直接押出法と、間接押出法とがある。

2.1.1 直接押出法

一般によく行われている方法であり、棒の押出を例として、それに用いられるダイス、バック・アップ工具の構造を図1に示す。

2.1.2 間接押出法^{1),2),3)}

近年脚光をあびてきた押出法の一つに間接押出法がある。この方法は、直接押出法では、ダイス側が固定され

ているのに対し、この間接押出法は加圧力を伝えるラム側を固定し、ダイス側が動く方法である。いわゆる逆押出の形をなしているの、別名逆押出法といわれるゆえんである。その概略を図2に示す。

間接押出法の利点としては、下記のものをあげることができる⁴⁾。

- (i) コンテナーとピレットとの摩擦が少ないため、押出力が小さくて済む。その結果同じ押出力のもつた機械でも、間接押出機の方が生産性が高い。
 - (ii) 押出中のピレット温度の上昇がないため、直接押出に比し、1.5～2.0倍の速度で押出すことができる。
 - (iii) 押出中、ダイス面に対する加圧力が変化しないため、ダイスのたわみが一定で、直接押出に比し、高い精度の寸法を得ることができる。
 - (iv) 押出開始部と終了部とで、組織の変化が少なく、機械的性質のバラツキを少なくすることができる。
- 以上が間接押出法の利点であるが、欠点として下記のことがあげられる。

- (i) コンテナー内部に固着したメタルが製品の中に入りこむため、合金がかわるごとに、コンテナーを交換する必要があり、多品種少量生産には適さない。
- (ii) 直接押出では、押出カスに銹皮等の酸化物を推積させて、これを切りすてることにより欠陥の混入を容易に防いでいるが、間接押出では、銹皮を押出前に除去しなければならず、原価を上げる要素になっている。さらに間接押出法を使いこなすためには、銹塊の逆偏析層に留意する必要がある、高度な銹塊製造技術をもっていることが、その前提となっている。

2.2 管の押出

管の押出には、アルミニウムおよび一部の合金では、熱間加工性が良く、高温でアルミニウム同士の接合が可能なところから、これを利用したポートホール押出法

* 古河アルミニウム工業株式会社、小山工場

表1 各種合金使用用途

合金系	JIS 呼称	アル マイト	冷間 鍛造	快削 性	導電 用	耐食 用	構造 用	溶接 用	ブ レ ー ジ ン グ	溶 接 線	耐 熱 性	代表的使用例
1000系	1070				○	○		○				ブスパー
	1050					○		○		○		一般品
	1100		○			○		○				〃
2000系	2011		○	○								ボルト, ナット
	2014		○				○					航空機
	2017		○	○			○					一般品
	2117						○					リベット
	2024		○				○					航空機
3000系	3003		○			○		○		○		一般品
5000系	5052		○	○			○	○	○			一般品
	5056		○	○	○		○	○	○			カメラ, ファスナー
	5083						○	○	○			溶接構造材
6000系	6101					○	○					ブスパー
	6061			○		○	○	○	○			一般品
	6063		○			○						〃
7000系	7N01		○	○			○	○	○	○		溶接構造材
	7075							○				航空機

と、どんな合金にも利用できるマンドレル押出法とに大別することができる。

2.2.1 ポートホール押出法

主として軟質合金に適用されるもので、オス型、メス型のダイスを組み合わせたポートホールダイスを用いる方法である。

この方法で押出された管は、同一断面において熱間接合部が数箇所あり、この個所が母相に比して機械的性質、金属組織の異なることが欠点といえる。

この製造方法の概略を図3に示す。

2.2.2 マンドレル押出法

ポートホール法のオス型のかわりに、芯金（マンドレル）を用いて押出す方法で、熱間接合部がなく、どんな合金をも押出すことができるのが特徴であり、長所でもある。

マンドレル押出法にも、プッシングラムにマンドレルが取りつけられて、ビレット、ラムと同時に前進するフローティング・マンドレル方式と、マンドレルの動かないフィックス・マンドレル方式とがある。

両方法の概略を図4-1、4-2に示す。

フローティング方式では、あらかじめ穴のあいたビレ

ットを用いることが不可欠であるが、フィックス方式では、中実のビレットを用いて穿孔しながら、押出すことができる。

特に大口径管の押出の場合には、中空のビレットを鋳造し、フィックス方式でビレット内側を10～25mm位、鑄皮を除去しながら押出す方法があり、これをシェーピング押出方式として、区別する場合もある。このシェーピング方式は、大口径マンドレルの先端により、ダイスの穴を通して押出されるクロップ（ヘソともいう）を少なくすることができ、歩止りを向上させることを目的として行われるものである。

3. 冷間加工

管棒製品の冷間加工は、熱間押出材をより細く、より薄く、より強く、より硬く、寸法精度の高いものにするために行われるもので、引拔加工が代表的である。

引拔加工は、合金の加工硬化性や、要求される表面品質および内部品質の程度によつて、パススケジュールが決められる。

現在よく用いられている引拔加工は、直尺の状態で加工するドローベンチ法と線引のようにコイル巻で行うド

7

表2 各種合金毎標準質別

合金	管			溶接管	棒		
	継 目 無 管				押出棒	引抜棒	コイル
	押出管	引抜管	コイル管				
1070	H112	H18 0, H14H16	0		H112	H18 0, H14H16	0, H18
1050	H112	H18 0, H14H16	0		H112	H18 0, H14H16	0, H18
1100	H112	H18 0, H14H16			H112	H18 0, H14H16	0, H18
2011	T6	T6			T1, T6	T3, T8	0, T4
2014	0, T4, T6	0, T4, T6			0, T4, T6	0, T4, T6	
2017	0, T4	0, T3			0, T4	0, T4	0
2024	0, T4	0, T3			0, T4	0, T4	0
3003	H112	0, H14	0		H112	0, H14	0
5052	0, H112	0, H14, H34		H32, H34	0, H112	0, F, H34	0
5056	0, H112	0, H32, H34			0, H112	0, F, H34	0
5083	0, H112	0					
6101	T6				H112	T6	0
6061	T4, T6	0, T4, T6			T1, T6	0, T6	
6063	T1, T5, T6	0, T6, T8			T1, T5, T6		
7 N0 1					T4, T5, T6	0, F, T4	
7075					T6	T6	

表3 国内製造量推移 (t)

年 月	品 種	管			棒	
		継目無管		溶接管	押出棒	引拔棒
		押出管	引拔管			
昭51年		7,408	18,076	3,550	11,208	22,370
52		8,343	15,633	2,791	10,346	18,604
53		11,120	18,726	2,802	11,375	19,905
54		15,433	22,659	3,521	15,449	21,489
55		11,766	23,994	3,089	12,588	17,209
56/4月		1,239	2,372	201	1,107	1,407
5		1,241	2,343	244	1,231	1,553
6		1,163	2,362	217	1,268	1,658
7		877	2,315	190	1,151	1,584
8		944	2,054	195	1,135	1,677
9		1,078	2,225	233	1,150	1,704
10		1,137	2,356	214	1,208	1,593

ローブロック法とに大別される。

3.1 ドローベンチ法

管および棒のドローベンチによる引拔加工の概略を図

写真1 3,950トン直接押出機全容

5-1, 5-2に示す。

引拔加工においては、曲りを発生させないようにすることが重要で、そのために、ダイスを2枚重ねたり、リダクションを変えたり、ダイスの角度を調整したりする。

特に管の引拔においては、ダイスとプラグの位置関係が重要であり、そのためドローベンチには、プラグの前後位置を微調整できること、引拔開始時にプラグがダイ

図1 直接押出法

スの穴に安定して押込むことのできる装置が必要である。

3.2 ドローブロック法

ドローベンチ法は、1本ごとに引抜加工するのに対し、ドローブロック法はコイル状のものを連続して引抜加工するものである。

初期の設備は、ブロックの横方向に一層巻きつけて、ブロックの横幅いっぱいになったところで、引抜を中断し、切放し後、また引抜を開始する横型ブロックが使用されていた。しかし、最近のものは、長尺のコイル管が引抜きできるように、縦型のブロックを用いて、その下にレシービング・バスケットを設置し、ブロックと同調回転しながら、引抜く方法が用いられている。引抜き終了後、レシービング・バスケットは遊園地のメリーゴーランドのように移動し、間断なく引抜き加工を行うことができる。その様子を写真2に示す。

ドローブロックにより引抜加工されたものは、用途に応じて矯正され、コイル状に整列巻されたり、直尺にのばされたりする。

ドローブロックによる引抜加工の概略を図6に示す。写真3には、出荷直前の整列巻コイル管の様子を示す。

4. 熱 処 理

アルミニウム合金の焼入炉には、塩浴炉と空気雰囲気炉とがあるが、中空部をもった管の焼入には塩浴炉は適さず、空気雰囲気炉が多く用いられる。

炉のタイプとしては、材料を挿入しやすい横型炉と、材料を吊り下げる縦型炉とがあるが、品質的には後者の炉の方が優れている。

焼入時に使用される温度は、460～550℃位のため、炉内においてアルミニウム合金は軟化し、材料を横においた状態で保持されると、材料同士の接触によるキズお

図2 間接押出法

び材料の湾曲による局部的変形が発生しやすい。

そのため写真4に示すような縦型炉が管棒製品の焼入用に用いられる。

この炉への装入方法は、炉の下に設置された水槽にまず材料を水没させ、その後水槽中で炉の直下へ移動して炉内へと吊りあげる方法がとられる。

材料を縦吊りしているため、溶体化処理中においても材料同士の密着程度が少なく、熱風循環も良く、焼入ムラが少ない。それと共に、焼入時の降下速度を大きくしても変形が少ないため、焼入感受性の敏感な2024、7075等のジュラルミン系統の焼入には不可欠の炉となっている。

5. 管棒製品の欠陥とその対策

管棒製品の欠陥としては、材料欠陥と称される金属組織的欠陥と、加工方法に伴う欠陥とに大別される。

5.1 金属組織的欠陥

(i) マクレダミ

押出製品に最も多くあらわれる欠陥で、直接押出法においては、押出後端部によく発生し原因は鋳皮、コンテナカス、潤滑油等が製品内部に入りこんだことによる。

防止法としては、平滑な鋳肌の鋳塊を使用するこ

7

図3 ポートホールダイス押出法

図4-1 フローティングマンドレル押出法

図4-2 フィックスマンドレル押出法

図5-1 管のドローベンチ引抜加工法

と、押出ヘタの厚みを適切にすること、コンテナとビレットとの温度差を保つことが有効な防止法である。

(ii) ストリーク

カメラの鏡胴等のアルマイト処理したのちに、長手方向に認められる筋模様である。

ストリーク欠陥は再結晶粒の不均一によるグレ・ストリークと異物の混入によるものと大別される。

グレ・ストリークは押出・引抜後の再結晶熱処

図5-2 棒のドローベンチ引抜加工法

写真2 ドローブロックとレシーピングバスケット

理によつて防ぐことができる。

異物の混入によるものは、非金属介在物と金属間化合物とにわかれ、前者に対しては、溶湯のフィルタリングが有効であり、後者に対しては、使用原料および微量元素の制限が必要である。

(iii) ストリンガー

ストリーク欠陥の内、異物の混入によつて発生するシャープな縦筋で、アルマイト処理なしでも認められる現象が多い。

防止法としては、鑄造前での酸化物の除去と不溶

図6 ドローブロック引抜加工法

写真3 コイル巻管の熱処理終了後における出荷直前の状態

な金属間化合物の生成をなくすことである。

そのためには、使用原料、溶湯温度、保持時間、フィルタリング、鋳造速度、鋳型形状、冷却速度等に関する高度な鋳造技術を有することが不可欠となる。

(iv) グレン・グロース

いわゆるジュラルミン合金といわれる2017, 2024, 7075等を溶体化処理すると、押出後端部の外周域に発生する粗大粒のことで、これが発生すると機械的性質が低下し、所要の規格値を満足することができない。

ジュラルミン系統の合金以外でも、非熱処理合金の3003や、熱処理合金の6061, 7N 01 等においても本欠陥が発生しやすい。

防止法としては、化学成分の微量規制、押出温度を低下させること、適切な押出比を選ぶことがポイントであるが、残念ながら、量産操業下において、完全に防止することはむづかしく、将来の研究がまたれるところである。

しかし、引抜加工材においては、溶体化処理前の

写真4 縦型焼入炉の全容

冷間加工度を調整することにより、ほとんど粗大粒の生成を防止することは可能である。

5.2 加工方法に伴う欠陥

(i) 割れ

管棒製品の表面部に認められる割れは、押出加工時の割れが残ったものと、引抜加工時に発生したものがある。

押出加工時に発生する割れは、押出温度の高すぎることおよび、押出速度の大きすぎることが主原因である。それ以外に押出ダイスのベアリングが長すぎたり、入口およびコーナー部がシャープすぎると割れが発生しやすい。

引抜加工時の割れは、合金ごとの許容伸びの値をこえた冷間加工度が与えられたときに発生する。そのために、各合金ごとの最大リダクションを規定し

7

ておき、これを越える加工度が必要な場合には、中間焼鈍を行うことになる。

しかし、量産操業時に散見される割れは、素管運搬時の接触疵や、取扱い不注意による打ち疵に起因する割れが多い。特に2024、7075等の高力合金においては、細心の注意を要することになる。

内部の割れについては、鋳塊の割れによるものがほとんどであるが、まれに、横断面において同芯円状の割れが検出されることがある。

これは、カップリングといわれるもので、引抜加工のリダクションが少なすぎたとき、表層部の金属のみが移動し、内側がそれに追随せず、その境界に隙間を生じ、これが割れとして認められるものである。

(ii) 肌荒れ

冷間加工前の素管の状態で、その表面が平滑でなかったり、粗大粒の組織の場合に発生しやすい。

それ以外に、たとえ健全な素管を用いても、引抜加工時の潤滑油、粘度、リダクションが不適当な場合にも発生しやすい。

本欠陥の防止には、合金、サイズごとに潤滑油、リダクション、ダイス角度を調整することが必要で、各社のノウハウになっている。

(iii) 焼付き

引抜ダイスの研磨不十分や、過度のリダクションによる潤滑油膜切れによることが多く、引抜作業中に、この欠陥が認められたら、ダイスを再研磨後、パススケジュールを変更し、潤滑油の粘度を調整することにより、ほとんど対応できる。

それ以外に、梅雨期においては、工場内の湿度が高くなり、思わぬ焼付きトラブルに出くわすこともあるので、それらにも留意することが必要である。

(iv) ビレ

光沢ムラが断続的に発生する現象で、これは引抜時のリダクションが過少であったり、ドローベンチの引抜力が不足している場合に発生しやすい。

ドローベンチの引抜力のリミットいっぱいになるような大口径管棒の場合、ビレが発生するとその対策は大変むづかしくなる。すなわち、引抜力を小さくすることが、まず第一に必要なことで、そのために、ダイス角度を小さくして、リダクションを減らす方法がとられる。

その場合、肌荒れ現象を誘発し新たなトラブルが発生する。その後は、潤滑油を変えるか、中間焼鈍を行うか、思いきつて素管サイズを変更する等の処

置が必要となり、表面限度を勘案しながら、トライ・アンド・エラーをくり返していくしかない。

(v) 管の縦割れ

管をスエージング加工したり、拡張加工等をしたとき、長手方向に割れることがある。極端な場合には、竹の割れに類似するものもあるが、これは熱間加工において、ポートホールダイスで押出された管にのみ発生する現象である。押出加工時の熱間接合不十分によることが原因で、その対策としては、ダイス形状を変更し、鋳皮、潤滑油等の不純物が混入しないように管理することが必要となる。

しかし、使用条件がきびしく、合金等の制約からポートホール法では対応しきれない場合には、熱間接合部のないマンドレル法で製造された素管を用いることが必要になる。

6. 将来の動向

現状の管棒製品の製造方法は、前述したような熱間押出および引抜加工により加工されたものであるが、コストダウン、品質向上を目的として各種の製造法が開発されている。

今回は開発段階の製造方法の紹介より、むしろ工業レベルで利用されているもの、または実用化の近いものを取り上げることにする⁹⁾。

6.1 溶湯からの製造法

今まで用いられていた製造方法は、原料を配合し、溶解鑄造により一次素材といわれる鋳塊を作り、これを加工することで所定の製品をうるものであった。

省エネルギーの観点からしても、溶解の段階で多大の燃料を消費し、粗加工ともいうべき熱間加工で鋳塊の予熱が行われ、2回の加熱が行われるのが普通である。

さらに合金含有量の多い鋳塊では、鑄造後均質化処理といわれる高温、長時間加熱が必要となり、これをも含めると3回も熱投入が行われることになる。

これに対して、溶湯から直接製品化する方法が考えられており、その現状を記す。

6.1.1 鑄造棒

最近、従来の押出棒の市場へ、鑄造のままの状態で鋳皮を除去した棒が代替して使用されるようになってきた。これは、ホット・トップ法といわれる鑄造欠陥が少なく、鋳肌も美しい製品を得ることのできる水冷鑄造法で製造されたものである。

現状は垂直方向で下方へ鑄造しているため、半連続鑄造になっているが、水平方向に鑄造することにより、連続鑄造することも可能となる。治具板に使用されるアル

ミニウム合金鋳造板材は、水平方向への連続鋳造によって製造されており、需要量さえ確保できれば、可能な方法である。

6.1.2 鋳造加工法

溶湯を樋により移送し、鋳造、圧延加工を連続して行う方法であり、アルミニウムおよび銅合金の電線用線材は大半この製造法で作られている。

鋳造機の種類を大別すると、次の3種類に分けられ、各々特許と結びついて、製造法が機種名でよばれている^{6),7)}。

- (i) ロールとロール ハンター法
- (ii) ロールとベルト プロペルジ法, スピデム法,
S. C. R. 法
- (iii) ベルトとベルト ヘーゼル法, キャスターⅡ法

これらの内、(ii)のロールとベルトの鋳造機による連続鋳造圧延法が最も多く利用されている。

しかし、アルミニウム合金にかぎれば、適用材質が少なく、今後の研究が待たれる。

6.1.3 半溶融加工法^{8),9)}

溶湯が凝固を開始し、内部に固相成分と液相成分とが共存する状態で、加工する方法である。最大の特徴は、加工力が小さくてすむため、設備を小型化できること、および、難加工材でも連続成形できることである。

6.2 固体からの製造法

現在、最も一般的に行われている方法であり、従来の方法に比して、より高能率化の得られたもの、より加工工程の短縮されるものについて述べる。

6.2.1 間接押出法

日本におけるアルミニウム圧延会社では、ほとんど間接押出機を保有しており、工業利用化された技術といえる。

間接押出法に関する原理や長所、短所については既述済みのためここではふれない。

最近間接押出法が見直され各社で採用されはじめた理由として、押出材の最大市場であった6063合金の窓枠サッシにかわつて、高力合金の管棒材の需要増加とコスト・ダウンの要請に応じたためであるといわれている。

それとともに、鋳造技術が向上し鋳塊の偏析層を制御できるようになったことと、押出工具で、ホローステムやダイスの改善が行われたことの効果が大きい。

6.2.2 ロッドミル法

多段ロールを用いて、熱間圧延する方法で生産能力は最大であるが、設備費および設置面積も多大のものを必要とする。

銅の電線製造において原理的には同じものが古くから

使用されていたが、最近のものは、ロールを直線状に配列したレピーターのないもので、鉄鋼関係では広く使用されている設備である。

アルミニウム製品に本格的に採用されているのはアメリカ位で、MORGAN社のCONTINUOUS ROD MILLが代表的である。これは、20段のロールを有し、生産能力として5,000~10,000 t/月も有しているため、日本の市場に対しては巨大すぎる。

この設備は硬質合金や、高力合金を圧延できるのが強味である。アメリカのSCREW MACHINE STOCKといわれる2011棒、ファスナーに用いられる5056線や、ボルト・ナットに用いられる2024棒等も本設備で製造されている。

6.2.3 静水圧押出法

非常に高圧下における流体を用いて、強制潤滑作用を利用してダイスから押出す方法である。静水圧押出は、高い押出比をとることができ、しかも高速で押出すことができる。

しかし現段階では一般のアルミニウム管棒材の製造に用いるには、コスト高になると考えられる。むしろ銅とアルミニウムの複合材や貴金属、超電導材等の製造へ適用する傾向にある¹⁰⁾。

しかし高力アルミニウム合金の細管を通常の引抜材と同等かそれ以上の精度で押出すことができ、大幅な工程短縮となる利点があり、この面での適用性が考えられる¹¹⁾。

6.2.4 コンフォーム法^{12),13)}

コンフォーム法は英国原子力会社によって開発され、日、英、米で20数機設置されている。

加工法の特徴は、従来数工程をへて製造されていたものでも、一工程のみで完成させ、しかも連続的に生産できることである。

コンフォームは溝付きの回転ホイールと、その溝をカバーする固定シューとで構成されており、素材とホイール溝との間でできる摩擦力により、素材を押込み加工する方法である。

回転ホイールのため、素材を連続的に供給することにより、摩擦圧接により製品を連続化することが可能となるわけである。

おわりに筆者は、通常のアルミニウム押出工場の製造現場を担当しているため、管棒製品に関するすべてを網羅することは不可能であり、個人的な片寄りのあるものになっていると思われる。

アルミニウム管棒製品に関する入門の一助にでもなれば、望外の喜びとするところで、諸兄の御意見を賜れば