第4章 技術の概要

4.1 引抜による金属成形技術の概要

金属材料の引抜加工技術とは製品の形状をしたダイスを通して引抜くことによって、丸形あるいは異形の断面に縮小して所要の寸法の棒、線、管材料を得る加工法をいい、主に冷間で材料に物理的、機械的性質の変化を与え、目的の品質を得るものである。

今日の引抜加工技術の進歩は、高精度、高能率の引抜機械設備の開発と、高性能のダイス材料によるところが大きい。また同時に、素材の寸法形状、精度や材質の均一性の向上が寄与するところが極めて大きかった他に、酸洗、潤滑処理や潤滑剤の進歩も見逃せない。

4.1.1 引抜加工技術の変遷

近年、量産化のためにドロブロック（伸線機）、ドロベンチ（抽伸機）の高速化、大型化、効率化、省力化が進められるとともに、一方では製品の高精度化に拍車が掛り、あたかも引抜機械自体が精密機械の様相を呈するものも現われてきた。このことは引抜機械ばかりでなく、塑性加工機全般にいえることで、これらを可能にした技術は単に機械工学のみならず電気工学、制御工学、材料工学などの周辺技術の進歩や、潤滑技術の格段の進歩に大きく依存している。

4.1.2 各種金属成形品の製造方法

(1) 棒、線の引抜加工方法

棒、線の引抜加工は円形のダイスに棒、線を通して引抜くことにより、ダイス孔と同一径の棒、線にするという基本技術から成り立っており、熱間圧延で成形された線あるいは棒材を縮径加工しつつ、その寸法精度を向上させ、製品材質特性を改良するために行う冷間加工技術である。

棒、線の引抜加工技術は、1) 引抜製品の長尺化とそれに伴う高速化、2) 引抜作業の連続化や設備の自動化、タンデム化さらには前後設備との連続化などの生産性やコスト低減を指向したハード面の技術開発と、3) 要求仕様に見合った品質（特に寸法形状と表面状態）や高度な材質性能の実現を目指したソフト面の技術開発が相互に深い関連を持ちながら進められてきている。その中で、いくつかの注目技術を以下に述べる。

a. 逆張力引抜伸線加工法

1920年代に Weissenberg-Siebel（ドイツ）によって発見された画期的な加工法である。逆張力によってダイス面圧を減少させることにより、ダイスの磨耗を著しく軽減させ表面性状が向上した。

b. 特殊引抜加工法

1) 強制潤滑引抜

伸線潤滑剤を強制的に高圧化し、材料摩擦面を流体潤滑化し摩擦を軽減する方法で、1955年に Cristopherson（イギリス）によって開発された技術である。難加工材の伸線を可能

にし、ダイス寿命の大幅な延長に顕著な効果があった。ただし、製品の表面はオイルスポットのために梨状を呈する。装置技術としては、高圧の高粘度油をノズルとダイスの間から漏れないようにするシーリングに工夫が必要とされている。

2) ローラーダイス引抜

1956年五弓 勇雄らによって考案されたもので、ダイスをローラーに置き換えることにより材料摩擦面の抵抗を大幅に減少させた引抜法である。引抜力の低減、断面減少率の増大が可能であり、また、潤滑剤も冷却効果の高い水溶性油の使用で高速伸線が可能である。また、伸線中に圧下量を調整することによりテーパ状製品が製造できることは大きな特徴である。欠点としては製品の形状寸法精度が普通ダイスに比較してやや低下することである。

3) 回転ダイス引抜

1950年代初頭に開発された方法である。ダイスを孔軸の回りに回転させながら引抜く方法である。長所は製品の真円度の向上とダイス寿命の延長である。あまり一般的ではないが、真円度の要求が強い製品についてはこの方法が有効である。70年代には線や鋼管の引抜に応用され、80年代には表面性状の改善のための開発もなされている。

回転ダイス引抜では、摩擦による付加的剪断力が作用し多軸応力下の加工の効果が現われ、見掛けの変形抵抗を減少させることができる。従って、引抜負荷軽減に寄与できるが、反面、材料に捻れが生じるという欠点もある。

4) 超音波引抜

引抜加工中のダイスに超音波振動を付与して行う加工法である。

超音波を付与する方式として、ダイスに付加する方法と、潤滑油中に超音波振動を加える方法があり、前者は変形抵抗の減少に効果があり、後者は潤滑剤の嚙込み導入を促進させ潤滑作用を増大させる効果がある。しかしながら、実際には変形抵抗減少効果はあまりなく、摩擦力低減に主な効果があった。さらに逆張力を付与するとか、超音波に適合する潤滑油の開発に期待がもてる。ただし、超音波効果を出すためには音波の腹、節に関係した厳密なジオメトリの検討が大切で、機械の設計、セッティングに対する細心の注意が必要である。

5) 温間、熱間引抜

温間、熱間引抜は冷間では加工困難な材料に行われる引抜法である。本法の目的は、単に、引抜力低減のためではなく材料の加工熱処理と加工性がある温度領域を選択して加工するところに意味があり、熱間引抜分野では、1980年代末よりタングステン、モリブデン線の引抜に用いられ始めている。

被引抜材を加熱する方式（炉内加熱、直接通電）も課題ではあるが、最大の課題は潤滑剤とその供給方法にある。熱間加工については、グラファイト系やセラミックス系潤滑剤が古くから用いられてきたが、温間加工では適正な潤滑剤の選定が困難である。

6) ダイレス引抜

ダイスやロールによる加工では工具との焼付きが著しく潤滑が困難な場合や、塑性変形しにくく許容加工率が小さいなど一般に難加工材と呼ばれる材料の加工の分野で一部実用化されている。

素材を高周波誘導加熱コイルで加熱しながら引張ることにより細径にし、急冷して所定

の寸法にするものである。この技術は 1970 年代に通信用光ファイバーの引抜法として開発されたが、その後、金属に対する技術移転が進みつつある。

7) 束引

1 つのダイス孔に複数の線や管を束ねて挿入し同時に引抜く方法であり、合金系複合超電導線などの製造に用いられている。銅管に超電導用素材丸線束を挿入して引抜くと、芯線部は六角形状の稠密八ニカム構造に一挙に加工される。また、線や管を複合させると、さらに特殊な形状を持つ引抜材や極細線が得られる。

(2) 管などの中空製品の引抜法

管も棒線と同様に基本要素はダイスと引抜ブロックであるが、これにプラグやマンドレルが加わる。従来は代表的な製造装置はドロベンチ（抽伸機）であり、量産を目的とした連続引抜機械の発展はあまりみられなかった。その理由は引抜加工の生産内容が品種、寸法、品質要求が多岐にわたり、そのためロットの大きさが小さく、バッチ方式が採用されたためである。その他、コイル状素材の供給にも問題があり、棒のようなパーインコイルの採用が遅れたことも一因であった。

しかし、鋼管でも電縫管供給素材のコイル化は一部実施され、連続引抜機械も実用化されてきた。一方、非鉄の世界では、連続化、長尺化はコイルから直管にする技術が確立され、また需要構造も手伝って連続化は一般化されてきた。

管の引抜加工技術の進歩形態は棒、線と同じであるが、量産技術もさることながら、対象が製品の高級化や多様化に向けられているのが特徴である。

a. 管の引抜加工の分類

1) 空引

心金を使わないダイスだけで引抜く方法である。これを空引といい、外径を減少させることを目的とする。引抜の条件によっては管の肉厚が増減することもある。

2) 玉引

プラグを支持棒によって固定し引抜く。管の内外面は美しく仕上がる。もっとも一般的な引抜加工方法である。

3) 浮きプラグ引

プラグを支持棒で固定せずに引抜中に自動的に平衡を取り正しい位置を保つように引抜く方法で、非常に細い管の引抜に有効である。またプラグを支持する必要がないので長い管の引抜ができる。

4) 心金引

心金にマンドレルを用い外径と同時に肉厚も減少することができる。小径あるいは薄肉の管の加工に用いられる。特に管の内面品質を重視した引抜方法である。

5) 押抜

この他、径の比較的大きな管については、マンドレル上に装着した管をマンドレル駆動でダイスを通させる押抜法がある。熱間押抜ではボイラー管のヘッダーチューブのような大径管の熱間製造に用いられている。熱間間接押出プレスや機械加工で鋼塊に穴をくりぬいて U 状のカップを作り、これを素材として熱間でダイスとマンドレルで押抜く方法で

ある。冷間では、シリンダーのような短尺材の製造に用いられている。

b. 管の各種引抜加工法

棒、線の項で述べた強制潤滑、回転ダイス、超音波引抜、温間引抜、ダイレス引抜などが試みられており、一部実用化も始まっているが、中実製品と中空製品との差があるため、同様の技術がそのまま適用されていない。

4.1.3 引抜機械

線材、棒材、管材をダイスを通して引抜き、所定の断面寸法形状にする機械を、引抜機械という。引抜力をブロックにより与え、コイル材を生産する機械をドロブロック（伸線機）と呼ぶ。一方、直線上に引抜いて、棒、線、管を製造する引抜機械をドロベンチ（抽伸機）と呼ぶ。

(1) 伸線機

a. 単頭伸線機

一般には1ダイス1ブロックの構成が基本であるが、ブロックを2～3段にしてそれぞれにダイスを設けたもの、2～3のダイス伸線を1個のブロックで行うものもある。

現在では生産量の少ない特殊線の引抜にしか用いられない。例えば、太線、加工硬化の大きな材料や異形線などである。

巻取ブロックの向きによって縦型と横型があり、巻取方式では、1個のモーターから軸を介して2個のブロックにした両頭式、巻取ブロックを2段にして引抜ブロックと巻取ブロックを分けたダブルデッキ型や、逆張力を付加できるようにしたものがあるが、線速度も1～2m/秒程度で遅く作業性が悪い。

b. 連続式伸線機

量産設備として発達してきたもので、単頭伸線機をタンデムに並べて、素線材を仕上げ径まで次から次へと引抜き、ブロックに案内して連続伸線する貯線ノンスリップ型から発達した。

1) ノンスリップ型

巻付線とブロック間にスリップを見込まない伸線機である。ダイスとモーターを備えた伸線ブロックを1単位として必要台数を並べたものと、共通のベッドに必要数のダイスとブロックを並べて各個にモーターを備えたものがある。各ブロックの周速度は、伸線スケジュールやダイス磨耗に対応した変速が必要で、モーターや機械による無段変速が行われている。最近では、小容量のものでは交流モーターの電圧、周波数を制御するインバーターを使用するものが多い。以前は1モーターでラインシャフトを駆動してクラッチとそれぞれのギヤ比が線の減面比率に近いギヤを介してブロックに動力を伝達していた。このため線速とブロック周速ダイス落としが変われば一致せず、ブロックの貯線量の増減に応じて、調整のため機械を止めなければならなかった。

ブロック間の速度のアンバランスを取る方法により、貯線式とストレート式に分けられる。

貯線式

ブロックに線を蓄えてダイス間の速度調節源とするもので、一般の貯線式は速度のアンバランスにより発生する張力でブロックと差動回転する繰出しローラーによりブロック上の貯線量を増減して速度差を吸収する。隣接ブロックが調和した線速で運転している間は繰出しローラーは静止しているが、線速がアンバランスになると回転し貯線量を増減して速度差を吸収する。

ストレート式

ブロック間の張力を利用してダイス間の速度を調整する。ブロック上の巻付量は運転中には増減できないため巻付量も少ない太線の連続伸線に使用される。ブロック速度のバランスを取る方法は、ブロック間の張力を一定の範囲内に保つように電動機の特性を利用するものと、ブロック間のダンサーロールの移動によるものがあり、いずれも逆張力伸線法として利点がある。

2) スリップ型

必要台数のダイスとキャプスタン（ブロック）を備え、1台のモーターであらかじめ定められた断面減少に従った周速でキャプスタンを回転させ、ダイスを通した線を1～数回巻付けながら順次細くして仕上げ線とする。伸線ではダイス孔径の誤差や磨耗を見込んで、キャプスタンの周速度を線速よりもやや早くするため、線とキャプスタンの間の摩擦発熱が大きく、ダイスの保護と潤滑を兼ねて湿式潤滑液に浸漬するかシャワーで噴射冷却するので一般に湿式伸線機といわれる。スリップ型伸線機には、太線に利用するタンデム式と細線に使用するコーン式とがある。

タンデム式

ダイスを備えた同一径のキャプスタンを、あらかじめ決めた断面減少率に従って順次増速した周速で必要数並べて、ギヤーのみによって周速を変える方法である。1モーターで高速伸線ができる。

コーン式

段車（円錐状に階段をつけたブロック）の各段の直径を伸線断面減少率に見合った大きさとし2個1組の段車間で片方を案内用としたもの、両方のキャプスタン（ブロック）を引抜きに使用したものがある。鉄、非鉄のうち、細線に使用するが、多くの線を同時に伸線する多本同時伸線機もあり、銅線では線の焼きなまし装置や連続処理装置が連結されタンデム化が進んでいる。極細線の生産機として注目されている。

c. 付属設備

1) 素材供給装置

供給方法には、舞輪式、ハンガー式、フリッパー式、上取式、ボビー式がある。舞輪式やハンガー式は主として太い素材に使用するが、素材を捻らず供給しなければならない細線にも舞輪式が使用される。この方法は供給材が回転しているために機械稼働中には素材間を接続できない。連続運転して稼働率を上げるには、素材コイル間の接続可能なコイル静止型フリッパー式や上取式を使用する。近年、酸を用いないメカニカルディスクローラーや皮膜処理装置を素材供給装置と引抜機械の間に設置するところが多い。

2) 製品仕上げ機

仕上げ機は仕上げ形状、線速、線径によって選定するが、伸線しながら取出すものと停止して取出すものがあり、取出方式は、キャリア取、バック取、結束取、ポビン取などに分かれる。線の配列が良く、積線率（体積密度）が高く、荷姿が奇麗であることが要求される。

コイラー式

固定したブロックに仕上げ線を巻付け、その巻付力によりブロック上の巻付線を押し出して集積枠上に落下させる方法である。

線の走行がなく、別名デッドロックと呼ばれる。縦型と横型があり太線には使用できないが、貯線量が大きく取出時間が長く取れ無人運転ができるので、連続伸線機に接続して広く使用されている。

ポビン式

異形線や特殊線を除く細線に使用され、スプラーと呼ばれる。ポビン取はコイラー式や他の方式では不可能な細線の取出しに必要な仕上げ機である。

巻付速度張力を一定に保つため、巻太りに対応して回転数を変化させ、また横移動させながらポビン幅一杯に巻取る装置である。伸線速度に追従する制御には、張力制御と速度制御方法がある。

(2) 抽伸機

バー材を製造する抽伸機は、断面形状が丸、六角、四角、平、その他異形および管製品製造用として使用されている。機械は引抜ダイスを装備するダイス部と直線に引抜くキャリアリッジ部とその駆動部および素材供給、製品取出装置で構成される。

a. ドローベンチ（バー・バー抽伸機）

通称ドローベンチと呼ばれ、ダイスに材料の先端を通し、そこを掴んで引抜きが完了するまでの距離を直線上に引抜く機械である。一般に引抜き力はチェーンによって与えられるが、油圧、水圧シリンダーおよびまれにはワイヤーロープによって与えられるものもある。素材はダイスを通すため口付（ポインティング）作業が必要で、スエイジャー、圧延、バイト切削法およびダイスに直接押込むプッシュポインターが使用される。

1) 機械の種類

引拔を与える手段によりシングル式とデュアル式とに分かれる。そのうち1個のダイスで1本のバーを引抜く機械を単引き、数個のダイスで数本のバーを同時に引くものを多本引きといい一般に奇数本用がある。シングル式はキャリアリッジ下部の引抜方向に回転するエンドレスチェーンに、キャリアリッジのフックに連結して引抜いて、引抜完了後別モーターで復帰させる。デュアル式はキャリアリッジの両側に2本のエンドレスチェーンを平行に連結し、そのチェーンの正逆転でキャリアリッジを往復運動させる。多本引きはバーの寸法公差の管理が困難なため3本引きが普通であるが、管材の中間引きなどには5～11本引きのものもある。

2) 機械の性能

機械の長さ12mのバーが引抜けるものが標準であるが、銅管や黄銅管の中間引拔では50

mに及ぶものもある。引抜の最大径と引抜力は、棒径 150 mmで 2.5MN、鋼管では径 400 mmで 4 MN のものがあり、大容量の引抜としては最適である。機械効率上、バー径 25 mmで 30m /min、50 mmで 20m /min が一般の抽伸速度である。

この機械には、例えば、管の供給装置を上下式や回転式にして回転速度を上げて省力化を狙ったものや、自動的にプッシュポインターでダイスに押し込んでキャリッジで引抜いて搬送し、口付部を切断し必要に応じて要求長さに分割し矯正する一連の作業工程が連結したものもある。

b. 連続抽伸機

バー・イン・コイル (B.I.C) のコイル状素材からバーを製造する連続抽伸機は、連続して引抜いた製品を切断して所定の長さの製品を連続して製造する機械であり、素材を 1 本ずつ先付して引抜くドロベンチに比べて、工程ロス、口付ロス、端尺ロスが排除されるため高い生産能力をもっている。

管のコイル素材は非鉄管に加え、近年はパイプ・イン・コイル (P.I.C) と呼ばれるコイル状の電縫鋼管が製造され、連続抽線機へコイル状素材として供給されている。

1) 機械の種類

連続引拔をして所定の長さに切断するものと、引抜材を切断するたびに機械を止める間欠型とがある。さらに引抜方法で分類すると、連続型にはカム機構により、まっすぐに引抜くキャリッジ式、キャタピラーに挟んで引抜くキャタピラー式、ブロックに巻付けて引抜くキャプスタン式があり、端尺用としては間欠型のクランク式がある。

2) 機械の性能

キャリッジ式連続伸線機は別名コンバインドマシンと呼ばれ、素材供給、予備矯正、引拔、原動、本矯正、切断、直線研磨、製品取出の 8 部で構成されている。

キャタピラー式は引抜力を回転運動で与えるため高速に適するが、キャタピラーの材質によっては引抜材に傷を与え、また曲りのため大きい引抜力が与えられず、現在のところ引抜力は 5,000N、速度は 150m /min が限度である。キャプスタン式は引抜力をブロックの回転で与えるため、力が大きく取れ高速にも適している。しかし、巻付線特に管では断面変形のために、その矯正に限界があり、最大径 15mm 程度が限界である。

(3) その他の付属設備

a. 脱スケール

化学的方法と機械的方法がある。化学的方法とは酸洗処理のことで、通常は 5 ~ 20% 濃度の硫酸、塩酸を用い、ステンレスには王水、沸硝酸が使われる。

設備には、線材に用いられるバッチ式と、熱処理とインライン接続しているストランド式がある。

機械的方法はメカニカルディスクレーシングと呼ばれ、最も一般的に使用されているのはリバースベンディング法である。これはローラーなどの円弧に沿って曲げを繰返してスケールを剥離させるものである。この他に、被加工物の表面に鉄球や鋼ショットを高速で衝突させるショットブラスト法、珪砂、コランダムなどを用いて圧縮空気をキャリアーにするエアブラスト法がある。また、高圧水をキャリアーにする試みもある。これらブラスト

法は、細径材では投射効率の関係で用いられていない。

b. 接合

連続伸線作業を効率化するため、先行コイルの後端とコイル先端をあらかじめオンラインで接続する。接続は電気抵抗加熱による圧接と放電加熱による溶融圧接とがあるが、前者のバット溶接よりも、後者のフラッシュバット溶接の方が溶接によって生じた酸化物を飛散させることができる。また、非鉄（アルミニウム）では冷間圧接も可能であり使用されている。

c. 矯正、切断

直線性を要求される直棒や直管には矯正が行われる。管、棒の矯正には一般的に傾斜ロール式矯正法が使われる。被矯正材は1～数段の傾斜ロールの中をスパイラルに進行し繰返し曲げを受け、ヒステリシスループを描きながら曲げ歪み零に収斂していく。管ではこの時に多少の断面矯正もできる。

長尺の線材では、材料が回転できないため、機械自体が回転する回転駒式や通常のローラーレバラーのような多ローラー式が使われる。いずれも駒、ロールの移動量の大きさと段間の配分には厳密さが要求される。

切断はシャー、鋸が通常使用されているが、連続性の高い作業では線速度と同期する走行切断機が用いられる。切断のタイミングは棒の走行長さを検出する計尺輪あるいは棒の先端到着検出計の信号を利用して設定される。

4.1.4 引抜工具

ダイスおよび心金については、引抜力などからみた角度、寸法、形状の設計技術と寿命、品質面からみた材質技術の2つから成り立っている。

前者については引抜理論の発達とともに、経験的に知られていた最適引抜角度が理論的に確かめられ、さらに膨大な実験的研究により実用性の高い計算式が提案された。

現在一般的に用いられているダイス、心金形状は、ダイスでは、テーパ型、アール型、テーパ+アール型、心金では、フロート型、円筒型、玉型がある。

一方、ダイス材質の検討が、引抜の高速化や生産能率アップさらには高品質化のニーズの高まりを受けて進歩した。

(1) 超合金ダイス

成分組成は WC-Co 系である。Co の含有量と WC 粒度によって硬さや抗折力が変わる。WC の粒度が微細なほど硬度が高く、超微細 (0.1～0.4 μ m) なものも開発されている。現在、太～中径材料では超合金ダイスのみが使用されている。

(2) コーティングダイス

超合金ダイスの表面に、TiC、TiN、Al₂O₃ などのセラミックコーティングを施して耐磨耗性や耐焼付性をさらに向上させたものである。

引抜ダイスの磨耗形態には、アブレッシブ、凝着、拡散、酸化、磨耗の4つがあるが、

TiC は最も硬くアブレッシブ磨耗に効果がある。TiN は化学的に安定であるため拡散磨耗に、 Al_2O_3 は耐酸化性に優れている。さらにこれらの皮膜を複合して、3層コーティングすることもある。

(3) ダイヤモンドダイス

天然ダイヤモンドを伸線ダイスとして用いた最初は 19 世紀初頭の欧州である。寿命と引抜材料の表面光沢の良さでは他の追随を許さないが、高価なため当初は細線の引抜のみに使用されていた。1975 年に、ゼネラル エレクトリック社（米国）で粉末状ダイヤを焼結したダイスが開発され、従来の天然ダイヤに比べて数倍の寿命が確認された。また、焼結ダイヤモンドは大型ニブが比較的安価に作れるため、従来の極細～細線製造分野だけでなく太線用まで適用が拡大している。

4.1.5 引抜潤滑

引抜材の表面品質とダイス寿命のためのみならず引抜作業のトラブル防止のために重点管理されている。

(1) 潤滑皮膜

引抜加工で用いられている潤滑剤の下地として被加工材へ皮膜処理が施される場合が多い。皮膜種類としては、石灰石鹼皮膜、ボラックス（ホウ砂）皮膜、リン酸塩皮膜（ボンデライジング）、シュウ酸塩皮膜、金属鍍金皮膜、樹脂皮膜などがある。

石灰、ボラックス皮膜は、皮膜のみで引抜かれるが、石灰石鹼皮膜の場合は剥離しやすいため、高炭素鋼や高速引抜には使用されない。ホウ砂皮膜は潤滑効果が高く、石灰石鹼皮膜に比べ剥離しにくく乾燥時間も短いため、オンライン皮膜処理として利用されている。潤滑剤のキャリアー、防錆機能および表面の美観を目的としてリン酸塩皮膜処理が盛んに用いられるようになった。キャリアーとして優れている理由は、結晶が樹脂状で微細な凹凸があるために潤滑剤が皮膜状に保持されるためである。ステンレス鋼のような高合金鋼は、リン酸塩に反応しないのでシュウ酸塩が用いられてきたが、近年、ステンレス鋼線用として Ni 鍍金やフッ化樹脂皮膜が開発された。

(2) 潤滑剤

潤滑剤の役割は引抜加工する時の摩擦を減少させ、引抜力の低減、ダイス磨耗の抑制、材料表面品質の向上を図ることにある。潤滑剤はその性状から以下のように分類される。

a. 乾式潤滑剤

基本的には金属石鹼、石灰およびタルクなどの無機物である。必要に応じて高級脂肪酸系の Ca、Ba、Na 系金属塩に硫黄や二硫化モリブデンなどの極圧あるいは層状固体添加剤（例えば黒鉛）が配合される。この潤滑剤は鋼線の伸線作業に使われる。

b. 湿式潤滑剤

液状の動植物油や鉱物油に極圧添加剤や防錆剤を加えたもので、これらを水に分散、乳

化、可溶させるために界面活性剤が配合されている。作業性がよく循環使用が可能で潤滑油原単位を軽減することができる。

冷却効果もあり強制引抜や連続引抜に適している。潤滑性能は多少低い、金属光沢のある仕上がりができる。

c. 油性潤滑剤

動植物油や鉱物油をベースに極圧添加剤や油性向上剤などが添加されている。潤滑性は乾式潤滑剤に劣るが湿式潤滑剤より優れている。金属光沢のある表面仕上げに使用されている。

4.1.6 引抜材の冷却

材料を塑性加工するときには必ず熱が発生する。正味の加工エネルギーの95%（理想変形、内部剪断仕事）に表面での摩擦仕事を加算されて加工材の昇温度が規定される。この発熱は材料（特に鋼）によっては時効を促進し材料を劣化させるばかりでなく、材料温度の上昇は工具強度および表面潤滑条件に悪影響を及ぼし、ひいては材料表面品質を低下させる。特に、高速引抜を行う伸線作業では剪断速度を決める大きな制約条件となる。そしてこれを支配している大半の原因は摩擦発熱にある。従って、ダイス表面温度を下げるには潤滑は当然ながら材料を冷却する必要がある。

4.1.7 引抜技術の注目点と今後の展開

生産工場における生産性向上は今後とも普遍的な課題であり、引抜加工の分野でも同じである。発展の歴史をみれば明らかであるように、量産化のための加工速度の高速化、連続化、自動化が図られた。その典型が連続伸線機にみられる。機械設計の基礎は高度に発達した引抜理論に支えられ負荷特性において最適化がなされた。しかし要求に応じ機械規模はますます巨大化しもはや飽和的レベルに達した感がある。もっとも高速化、連続化、自動化は線を頂点に置くものの、棒、管に拡張する余地は十分にある。そして新たなセンサーの開発を伴った自動制御技術を大胆に取入れることにより大きな飛躍の可能性をみいだすことができるであろう。例えば大量生産機でありながら超精密な製品寸法形状を可能にしたり、張力制御により同じダイスを用いて途中径を変更するなど夢ではない。量的側面はさておき、製品に対する要求はその寸法精度、表面性状、形状の多様性、難加工性材料においてますます過酷となるであろう。むしろ今後は、引抜本来の姿としてこの面の比重が高まることと思われる。

ところで、引抜技術の根幹をなす引抜工具（ダイス、心金）の重要性はますます高まる。形状面では加工理論が負荷特性のみならず変形特性まで進展し、加えて多くの実験データから合理的な工具設計ができるようになった。工具材質面では、従来の超合金に対する冶金技術が頂点に達し、多少の改良があるにしても多くを期待できず、発展の活路は合成ダイヤモンドを初めとする各種セラミックダイスに求められるようになってきている。

また、工具の負担を減少させる技術として、逆張力、回転ダイス、潤滑、冷却などは重要技術であり、特に潤滑技術は発展の余地が大きい。何故ならば、期待効果の割合にしてはあまりにも未解明なことが多すぎるためである。

一方、省力化の技術に対しては不断の努力が傾注され、各工程の接続、タンデム化が図られ、また各種マテリアルハンドリング装置を生んだ。工程省略技術は省力化技術の有力な柱である。潤滑状態が改善されてパス回数や中間焼鈍が省略できれば、省エネを兼ねて絶大な効果がある。

また、引抜中に加工熱処理ができれば、工程省略や省エネに効果が期待できるだけでなく、新材料や新製品を生む可能性がある。