粘塑性圧力媒体を用いた 静水圧押出法の開発

山口 喜 弘*

1. はじめに

超高流体圧を利用した押出加工法、静水圧押出法の原理は古くは1893年のRobertsonの英国特許⁽¹⁾に見ることができる。いっぽう、実験的研究は1950年頃になされたBridgmanの試み⁽²⁾を最初とする。Robertsonの特許では高圧流体による潤滑作用が強調されている。またBridgmanの試みは、金属材料の破壊延性が静水圧下で著しく増大するとともに高静水圧下で予ひずみを与えるとそうでない場合に比し残留延性が大きくなるという彼の実験的知見を動機としていた。これらの事実は静水圧押出法のその後の展開を顧みるときに重要である。

Bridgmanの実験的試み以来、各国で $\frac{1}{4}$ 世紀にわたって活発に静水圧押出法に関する研究開発がなされてきた⁽³⁾が、新しい塑性加工法として工業的に利用されるようになったのは極めて最近のことである。静水圧押出法の工業化までの歩みが遅かったのは、10~20 kbar というような超高圧を日常的に使いこなす超高圧装置技術の開発に時間を要したこと、当初難加工材料への適用に関心がかたよったためにすぐれた基本的特長を有しながら、生産性が高く利用しやすいプロセスに発展させる努力がじゅうぶんなされなかったことなどによるものと考えられる。本稿では静水圧押出法の基本的な特長と問題を述べるとともに筆者らが開発した粘塑性圧力媒体を用いた静水圧押出法を紹介する。

2. 静水圧押出法の基本的特長と問題点

静水圧押出法はピレットの周囲に高圧の圧力媒体が介在することによる次のような特長を有している。

(1) ピレットと圧力容器内壁とは直接接触せず、その間の摩擦は存在しない。中空ピレットを押出す際にはピレット内壁とマンドレル側壁間の摩擦も同様に存在しない。したがって長尺ピレットを有効に押出すことができる。また同一容器でそれが収用しうる範囲では種々の形

状寸法のピレットを押出加工できる。そのため従来の押出法にはない融通性が生じる。

(2) ダイス変形領域に入る以前のピレットには基本的には静水圧応力が作用するだけであり、従来の押出法で生じるピレットの予めのすえこみ変形は生じない。そのために管押出し時の偏肉抑制、複合ピレット押出し時の健全性の維持が容易になる。

(3) 高圧流体による強制潤滑作用によってピレットと工具との摩擦損失が他のいかなる押出加工法よりも小さくでき加工荷重が低減できる。この特長は高押出速度でも維持される。また、そのために円錐状ダイスのような余剰せん断ひずみを小さくできるダイスを有効に利用できるので効果は一層大きくなる。潤滑状態が良好なので工具と焼付き易い材料の押出加工や薄肉異形材の精密加工が容易になる。

(4) ピレットと工具との摩擦が小さいことと円錐状あるいはそれに類似したダイスを用いることにより、加工変形領域の大部分に高静水圧応力が作用するとともに、横断面にわたって塑性変形が均一になる。このことは低延性材料の押出加工を可能とし、また押出材の性質を一般に良好なものにする。背圧下へ押出す場合にはこの特長がより顕著になることがある。

(5) 圧力媒体の存在によって容器内壁はもちろんダイスやマンドレルの摩耗が少なくなる。またダイスの外周に高静水圧を作用させることができるので薄肉ダイスを利用できる。マンドレルもピレットとの摩擦に起因する引張応力を低減できるので従来の管押出法に比し強度上の制約を大幅に軽減できる。

いっぽう、静水圧押出法は高圧の圧力媒体を利用することにもなう次のような問題点を内在する。

(1) 圧力媒体は圧縮性を有し、またピレットと工具間の潤滑状態は押出速度に依存することから、押出しに際してスティック・スリップのような動的不安定現象を生じることがある。

(2) 従来の押出法におけるようなピレットの擦過による容器内壁の摩耗等の損傷はないが、容器内面の初期欠陥や疲労き裂への圧力媒体の浸入による押し上げ作用により、容器の設計条件が厳しくなる。

(3) 圧力媒体の容器への注入、排出が必要であり、押出装置が複雑になり、サイクルタイムが長くなりがちである。

(4) 高温で静水圧押出しするに際して、加熱ピレットを容器に挿入後圧力媒体を注入すると、圧力媒体の乱流などによってピレット温度が低下しやすい。

* 株式会社神戸製鋼所中央研究所主任研究員
A New Simplified Hydrostatic Extrusion Process;
Yoshihiro Yamaguchi (Central Research Laboratory,
Kobe Steel, Ltd., Kobe)
1975年4月3日受理

3. 静水圧押出法の工業的利用と粘塑性圧力媒体を用いた静水圧押出法の開発

静水圧押出法工業化の過程は前述の基本的な特長を活かしたままで、その問題点をいかに解消するかにあったといえることができる。

第1の問題点、静水圧押し時の動的不安定現象の直接的な抑制法としては、押しに際して静水圧の他に製品に前方張力、あるいはビレット後端に軸圧縮力を同時に付加する方法が提案されている⁽³⁾⁽⁴⁾。これらの方法は非常に有効であるが、装置上あるいは操業上に複雑さをもたらすことは否定できない。ハイドラフィルム(Hydrafilm)法⁽⁵⁾はこの点に関して興味深い方法である。この方法では容器とビレットの間隙を0.3 mm程度と小さくし、かつ圧力媒体の量を少なくして、押し開始時にビレットの予めのすえこみ変形が過大にならない範囲でステム先端とビレット後端の直接接触を許容する。この方法はプロセスの簡易化と動的不安定現象の抑制に効果的であるが、静水圧押出法が本来有する融通性を犠牲にしているとも考えられる。ビレットあるいは容器内にダンバを取付け安定化する方法も提案されたが、工業的見地からは一般的ではない。ところで静水圧押し時の動的不安定現象は意外に容易なそして好ましい別の方法で解消しうることが明らかになった。それは押し速度を高くすることである⁽⁶⁾。工業的に利用される範囲の押し速度、たとえば10 mm/sec程度のビレット速度では押し初期から潤滑状態が良好になり、安定な押しが実現される。このようにして現時点ではこの問題点は実質上解決されたといえることができる。

第2の問題点、容器の強度については、円筒内壁に予め高い圧縮残留応力を与えることによって圧力媒体のき裂への浸入効果を抑制しうることが見出され、15 kbar程度の圧力に対しては経済的に許容できる寿命を有する容器の設計が可能になってきている⁽⁷⁾。

第3、第4の問題点は圧力媒体を用いることにともなう不可避的な要素として装置技術上の工夫でそれらの欠点を補う努力がなされてきた。

このような過程において、1970年前後から冷間での静水圧押出法の工業的利用が各国でなされ始めた。用途は変形能や押出材の材質に対する制限から高温加工が好ましくない合金や複合材、精度や表面性状の観点で冷間加工が必要な製品の押出加工であり、圧力媒体としては大気圧下で適度な粘度を有し、圧力ともなう粘度上昇が鉱物油のように著しくなく、かつある程度の耐熱性を有するひまし油のような液体が用いられている。

しかし、変形抵抗や破壊延性の観点から高温で加工することが望ましい金属材料に静水圧押出法を適用することを考えると、圧力媒体として液体を用いる従来の方

法では前述の第3、第4の問題点が厳しい制約になる。筆者らはこのような背景の下で粘塑性圧力媒体を用いた静水圧押出法を開発した⁽⁸⁾。

この方法の概略を図1に示す。図1(a)はビレットの容器内への挿入に先だって塊状の圧力媒体が容器後端部に挿入された状態を示す。塊状の圧力媒体は予め加熱されていてもよい。つぎに図1(b)に示すように容器内にビレットが挿入される。まずビレット後端が圧力媒体に接し、さらに容器とビレットの相対移動が進むにしたがってビレットと容器の間隙に圧力媒体が流入し、空気を排除する。そしてダイスと容器間でシールがなされると直ちにステムが前進し、静水圧が発生し、押しがなされる。その状態を図1(c)に示している。押し終了後圧力媒体はステムにより容器外に排出、回収され、再使用される。この方法によれば静水圧押出法の基本的特長をいささかもそこなうことなく常温ならびに高温のビレットを簡易に押し加工することができる。装置も従来の押しプレスに近い構造に単純化される。圧力媒体の注入、排出に要する時間も液体を用いる場合に比し短縮できる。予め加熱されたビレットを粘塑性圧力媒体を用いて静水圧押しする場合にはビレットの容器内滞留時間が短くかつ圧力媒体が乱流を生じにくいので温度低下が小さい。このことは同時に容器等への熱影響が小さいことを意味する。

図1 粘塑性圧力媒体を用いた静水圧押出法。

この方法で用いられる圧力媒体は所定温度で容器内に挿入される際に作用する重力等の外力で流動しないだけのせん断降伏応力を有し、かつ押し圧力下でほぼ静水圧的に圧力を伝達しうる特性を有する非ニュートン流体である必要がある。使用温度等によって選択されるが、特定のグリース、ワックスと油脂の混合物等がこの特性を満たす圧力媒体として利用される。

この方法で各種材料を高温で静水圧押しした結果の例を図2に示す。モリブデンは冷間では延性が低いので加工困難であるが、高温では健全に押し加工できる。銅

合金やアルミニウム合金は温度上昇とともに変形抵抗が著しく低下するので、高温域では非常に高い押出比で加工できる。また、従来の直接あるいは間接押出法では表面割れのため数 m/min 程度の低速でしか押出加工できない 2024 のようなアルミニウム合金が高温静水圧押出法では 200 m/min 以上の高速で健全に押出されることが明らかになっている。

図2 冷間および高温静水圧押出しにおける押出圧。

4. ま と め

静水圧押出しは各国の中で特に我国において工業化が積極的に進められている。そして新しい技術の常として特殊な用途からより一般的な用途に利用分野が拡がりつつある。そのような動向の1つとして粘塑性圧力媒体を用いた簡易化された静水圧押出法を紹介した。

文 献

- (1) J. Robertson : British Patent No.19356 (1893) .
- (2) P.W.Bridgman : *Studies in Large Plastic Flow and Fracture*, McGraw Hill, (1952) .
- (3) 例えば H.L.D.Pugh : *The Mechanical Behaviour of Materials under Pressure*, Elsevier Pub.Co. Ltd., (1970) .
- (4) H. K. Slater and D. Green : *High Pressure Engineering*, IME, (1967) , 109 .
- (5) R.J.Fiorentino, G.E.Meyer and T.G.Byrer : SME Paper, MF 71-103 (1971) .
- (6) たとえば西原正夫, 藤田 達, 山口喜弘, 松下富春, 野口昌孝 : 塑性と加工, **13** (1972) , 178 .
- (7) 西原正夫, 山口喜弘, 服部重夫 : 塑性と加工, **15** (1974) , 696 .
- (8) 藤田 達, 山口喜弘, 松下富春, 野口昌孝, 山崎龍雄 : R & D/神戸製鋼技報, **24** (1974) , 46 .

——分科会報告——

宿題テーマ研究会

高融点金属材料の基礎的諸問題

上記研究会が、第Ⅰ・Ⅲ総合分科、東北支部、文部省科研費総合研究班の共催で、6月11, 12, 13日と川渡共同セミナーセンターで開かれた。参加者は北は札幌から南は福岡まで全国から64名に達した。講演は総合研究班のメンバーによるものが大部分であった。プログラムを次に示そう。

〔6月11日〕

- (1) モリブデン中の炭素の拡散
東北大工 平野賢一 飯島嘉明
- (2) バナジウムの酸素スネークピークに及ぼす合金元素の効果
東大工 四籠樹男 石野 栞 三島良績
- (3) 電子線照射損傷と侵入型原子の相互作用
北大工 竹山太郎 高橋平七郎
- (4) BCC 金属の高温変形に及ぼす侵入型不純物原子の影響
北大工 高橋平七郎 竹山太郎

〔6月12日〕

- (5) V_a 族金属による水素のピックアップ
東北大金研 阿部勝憲 吉永日出男 諸住正太郎
- (6) 急冷法による V_a 族金属中の水素、重水素の研究
東北大金研 花田黎門
- (7) Ta 中の水素によるスネーク効果
東大工 岩瀬彰宏 阪本甲子郎

- (8) ニッケルおよび鉄中の水素の回復過程
阪大基礎工 山川浩二 藤田英一
- (9) パルス NMR による金属中の水素拡散の研究
中大理工 深井 有 風間重雄 杉本秀彦
- (10) Nb-H 系の NMR
金材研 中村恵吉
- (11) バナジウムの水素脆性と動的観察
東大物性研 鈴木 平 小池茂年
- (12) BCC 金属における {110} 異常すべり
東北大金研 松井秀樹 木村 宏
- (13) 高温変形における内部応力
東北大金研 阿部勝憲 吉永日出男 諸住正太郎
- (14) BCC 金属の靱性と転位のセル構造との関係
東理大工 橋口隆吉
- (15) 18-8 ステンレス鋼におけるマルテンサイト変態と結晶塑性
東大物性研 鈴木 平 橋本辰男 小島日出夫

- (16) 鉄単結晶の機械的性質に及ぼす低温中性子照射効果
九大応力研 北島一徳 安倍博信
原研 高村三郎 奥田重雄

〔6月13日〕

- (17) バナジウムの Radiation Anneal Hardening について
東大工 脇田淳一 四籠樹男 中村仁一 石野 栞 三島良績
- (18) 中性子照射したバナジウムの焼鈍硬化
原研 白石健介 深谷 清 片野吉男
- (19) Mo および W の電子照射と格子欠陥
阪大基礎工 桐谷道雄 高田広志 前原泰裕
- (20) BCC 金属の格子間原子
原研 奥田重雄 水林 博