

# 새로 開發되는 金屬加工法

張 敬 澤\*

## 序 言

한 部品을 生産하는데 適切한 加工法을 選擇하는 問題는 工場建設에 있어서 가장 核心的인 것이며 또 이의 良·不에 의하여 그 工場의 壽命이 決定된다고 할지도 過言은 아니다. 最近 時代的 要請에 의하여 在來의 金屬加工法은 限界에 達하게 되었고 이에 따라 先進 諸國에서는 새로운 金屬加工法의 研究가 活潑히 展開되고 또한 開發되고 있는 것이다. 이러한 새로운 金屬加工法들을 研究 檢討하여 國內에 導入함으로써 企業의 發展은 勿論 나아가서 經濟發展을 이룩하며, 技術의 蓄積에 의하여 將次 跳躍에의 기틀을 마련해야 할 것이다.

모든 産業에서 使用되는 金屬製品은 金屬材料의 加工으로부터 出發하여 効用이 높아진다. 조그마한 裝身具에서 巨大한 모키프 部品에 이르기까지 金屬加工은 各 生産 分野에 絶對的인 影響을 미치고 있다. 그러므로 世界 各國의 産業機關과 政府에서 多額의 投資를 해가면서 恒常 서로 加工法을 研究開發하기 爲해 積極的으로 支援하고 있는 것이다. 最近에 생긴 加工法으로 現在 많은 國家에서 이것에 對한 研究가 活潑하고 또 우리 韓國에 가장 妥當하다고 생각되는 加工法은 爆發加工法과 冷間押出法이다. 이 외에도 妥當하다고 생각되는 方法들이 몇가지 있으나 于先 이 두가지를 說明해 보기로 하겠다.

## 爆發加工法

金屬을 變形, 衝擊硬化(shock hardening), 被

\*技師(機械部門)

韓國科學技術研究所 金屬加工 第2研究室長

限시키고 粉末壓着시키는 데에는「에너지」가 必要하며 이 「에너지」는 여러 가지 方法으로 얻을 수 있다. 이 中에서 化學「에너지」를 갖고 있는 爆藥은 種類가 多樣하고 여러 가지 形狀으로 加工할 수 있기 때문에 가장 注目을 받고 있는 것이다. 그러나 最近의 몇년 동안에 gas 混合率을 使用하는 方法도 상당한 發展을 보았다.

高速爆藥을 使用할 때의 變形 過程은 gas 들을 使用할 때와 약간 다르다. 이 두가지 方法의 主된 差異點은 金屬이 變形을 받을 때의 그 變形率이다. gas 를 使用할 때의 變形率은 3~4 inch/inch/sec 程度인 反面에 爆藥을 使用할 때는 400~600 inch/inch/sec 程度에 이른다. 또 하나의 差異點은 「에너지」를 作用시키는 時間이다. gas 에서는 10분의 몇초에 이르나 爆藥에서는 많아야 백만분의 몇초 以內이다. 그러므로 gas 를 使用할 때는 時間이 充分히 充되어서 反應熱에 의하여 加工材는 變形을 받는 동안에 溫度가 上昇하게 된다. 一般的으로 爆藥은 여러 가지 形狀으로 加工할 수 있고 또한 成分을 變化시키므로써 「에너지」 放出量을 調節할 수 있으며 Detasheet 같이 爆發加工을 위한 特殊한 爆藥도 開發되었다.

高「에너지」gas 加工에서 燃料, 酸化劑, 稀釋劑를 選擇하는 問題는 高速爆藥에서 보다 더 많은 制限性을 갖고 있다. 一般的으로 이 때의 燃料는 다음의 條件을 갖추어야 한다.

- (1) 安定된 爆燃으로 適切한 壓力을 내야 한다.
- (2) 燃燒物은 毒性이 없어야 한다.
- (3) gas 는 燃燒壓力과 溫度에서 分解되지 않아야 完全한 混合과 均一한 燃燒를 達成할 수 있다.

(4) 燃料 gas, 酸化 gas, 稀釋 gas 의 값이 低廉하여야 한다. 普通 燃料 gas 로는 水素, 에탄, 메탄, 天然 gas, 酸化 gas 로는 酸素, 空氣, 오존 13, 稀釋 gas 로는 헬륨, 窒素, 炭酸 gas, 알곤 등이 使用된다.

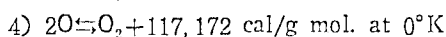
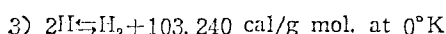
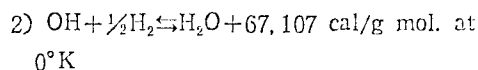
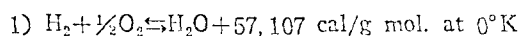
金屬加工에 爆藥을 使用할 때 爆藥이 加工材와 接觸하고 있으나, 떨어져 있으나 에너지를 材料의 運動에는 確然한 差異가 있다. 接觸時에는 應力波와 이에 대한 材料의 反應이 問題인 反面에 떨어져 있을 때에는 壓力波 (pressure pulse)의 問題이다. 爆藥의 「에너지」가 加工材로부터 떨어진 곳에서 放出되던 이것은 中間媒介體(주로 水)를 通하여 壓力波 (pressure pulse)의 形態로 傳播된다. 加工材에 이르는 最大壓力은 수천 psi 내지 수십만 psi 에 달하고 加工材의 變形은 壓力波와 거품의 膨脹 收縮 및 水面反射에 起因하는 二次效果에 主로 關聯된 外力에 左右한다. 爆藥을 加工材와 密着하여 爆發시키면 金屬의 表面은 수백만 psi 의 압력이 몇  $\mu$  second 동안 作用하게 된다. 壓力, 時間, 力積은 加工材와 爆藥의 成分, 갯수 등에 決定되며, 瞬間的인 壓力波가 加工材內에 誘導되어서 金屬內로 傳播되므로 變形이나 破壞가 生기게 된다.

可燃 gas 의 混合物을 密閉容器內에서 點火하던 反應은 다음의 세가지 樣狀으로 일어난다.

(1) 斷熱燃焼: 火焰面(flame front)의 速度는 亞音速이고, 壓力, 溫度, 體積의 變化는 斷熱反應原則을 따른다.

(2) 不安定 爆燃: 極히 激烈한 反應이 일어나 매우 센 衝擊波가 生진다. 이것은 大概 瞬間的이고 다음에 安定된 爆燃이 따르게 된다.

(3) 安定한 爆燃: 反應은 얇은 火焰面內에서 進行되고 衝擊面 앞의 未燃 gas 는 停止狀態이다. 다음 反應式은 水素와 酸素의 斷熱燃焼反應式이다.



混合物의 平衡에 대한 Le Chateliers'의 法則

은 燃焼結果를 理解하는데 도움이 되며 이 法則은 (1)溫도의 增加는 熱을 吸收하는 反應을 促進시키고 (2)壓力의 增加는 混合物의 體積을 減少시키는 反應을 促進시킨다는 것이다.

密閉容器內의 斷熱燃焼는 溫도와 壓力을 同時에 增加시키므로 溫度上昇이 反應을 왼쪽으로 進行시킬려고 하는 反面에 壓力上昇은 反應을 오른쪽으로 進行시키려고 하여 이들의 中間에서 平衡이 이루어지며 따라서 最終의 生成物은 純粹한 물이 아니라  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{O}$ , 等이고 이들의 量과 壓力은 解析的으로 計算해 볼 수 있다.

爆發加工에서 設備은 適切히 設計하고 選擇하는 問題는 매우 重要하다. 材料를 잘못 選擇하고 設計가 貧弱하기 때문에 일을 그르치는 境遇가 許多하다. 지금까지 爆發加工을 成功的으로 遂行하기 위하여 많은 最善의 다이(Die) 形狀이 使用되어 왔다. 普通의 金屬加工, 例를 들면 프레스 作業을 위한 다이設計 技術을 爆發加工에 適用할 수는 없다. 高速爆藥이 爆發하면 衝擊波가 發生하여 다이와 clamping system 을 지나고 境界面이나 中間表層에서 反射되므로 날카로운 모서리나 不當한 眞空口, 脆弱한 다이材料 등은 될 수 있으면 피해야 한다. 再反射한 衝擊波面에 起因한 保強 引張波 때문에 큰 應力이 생겨 다이의 모서리는 破壞되기 쉽다. 더구나 眞空口들이 密集해 있으면 初期의 센 衝擊波가 다이에서 反射되기 때문에 구멍들 사이의 材料가 破壞되기 쉽다.

生産品의 갯수가 적을 때에는 強度가 작은 plastic, concrete, 길지어는 단단한 木材, 얼음도 다이 材料로 使用된다. 勿論 公差는 다이의 硬度, 剛性, 表面加工度에 直接 影響을 받는다.

強度가 큰 合金, 즉 降伏強度가 75,000 psi 보다 큰 材料를 加工할 때는 鑄鋼, 合金鋼, 工具鋼의 다이를 使用할 必要가 있다. 最近에 半球體, 橢圓體, 球等을 加工하기 위하여 獨特한 方法이 考察되었다. 根本的으로 이것은 中空의 熔接機 內部에서 爆藥을 爆發시키는 것이다. 中空體 內部에는 水의 通路가 마련돼 있다. 加工形態는 爆藥의 位置, 크기, 種類로 調節되며 一定한 形態에 必要한 正確한 條件은 實驗的으로 確立한다. 이것은 다이가 必要하지 않으므로 相當한 長點을 가지고 있다. gas 加工을 하기 위한 다

問이 設計는 高速爆藥加工에서와 별차가 없으며  
다익는 普通, 鋼, 鍊合金鋼, 鑄鐵 등으로 만든다.

爆發加工에 必要한 設備는 機械나 水力 프레스에 비하면 값비싼 것은 아니며 無限한 길이와 크기를 가진 바다도 充分히 使用할 수 있다. 爆發加工에서 容量이 작을 때는 批露제가 없지만 풀 때에는 주먹지 등의 인구밀도가 큰 곳에서 멀리 떨어져야 하며 電磁波 등의 影響도 考慮하고 爆藥의 貯藏, 取扱, 輸送에는 萬全을 기하여야 한다.

爆發加工으로 金屬材料의 成型, 被服及 熔接, 粉末壓着, 硬化, 切斷 등의 加工이 可能하다. 成型은 지금까지 板材類의 加工에 가장 많이 使用되었다. 이 加工은 주로 standoff 作業이었으나 contact 作業으로도 成型을 行할 수 있다. Bulging과 Sizing 作業도 흔히 爆發加工으로 행한다. 수 많은 여러 tube 形狀들이 여러가지 形態로 膨脹加工 되었다. 일반적으로 이 作業으로 매우 작은 公差를 얻을 수 있다. 爆發熔接은 工業에 매우 重要한 工程이다. 이것은 다음과 같은 理由 때문이다.

(1) 普通의 方法으로는 熔接할 수 없는 金屬들을 熔接할 수 있다.

(2) 흔히 熔接에서 問題되는 熱影響地域이 생기지 않는다.

(3) 材料의 機械的, 金屬學的 性質이 影響을 받지 않는다.

(4) 이에 必要한 投資費가 적게 든다.

더구나 爆發被服은 化學 工場에 많이 使用되는 被服材의 生産에 適合하다. 線型의 爆藥을 使用하여 切斷作業도 可能하며 粉末壓着에서는 Sintering 할 必要가 없다. 爆發硬化는 加工硬化層이 얇고 또한 材料의 最大 硬化를 達成할 수 있다.

以上の 爆發加工은 위에서 言及한 것 외에도 다음의 長點을 가지고 있다.

① 成型後에 材料의 規格에 變化가 없다.

② 값싼 爆藥으로써 큰 「에너지」를 얻을 수 있다.

③ 表面加工度가 좋다.

④ 材料를 다른 方法보다 더 많이 變形시킬 수 있다.

⑤ 加工하기 힘든 材料의 加工이 容易하다.

⑥ 熱處理나 冷間加工 없이 材料의 硬化가 可能하다.

⑦ 硬化된 材料의 延性は 별로 影響을 받지 않는다.

그러나 爆發加工의 短點으로는 다음을 들 수 있다.

① 多量生産에 適合하지 않다.

② 加工 形狀에 制限이 있다.

③ 加工時 爆音으로 因하여 都市內에서는 不可能하다.

現在 美國, 英國, 소련, 獨逸等 約 10個國이 이 加工法을 研究 開發中에 있으며 이 方法으로 商品과 部屬品을 生産하고 있다. 우리 韓國에서도 이러한 加工法을 利用하고 研究開發하여야 되리라 생각된다.

### 冷間押出法

金屬의 加工은 그 加工溫度가 金屬의 再結晶溫度 以上이나 以下냐에 따라 熱間加工과 冷間加工으로 分類한다. 冷間加工中에서 押出은 가장 應用範圍가 넓고 重要하다고 생각되므로 이에 대하여 살펴 보기로 하겠다.

冷間押出에서 材料內에 생기는 應力은 매우 크므로 이의 適用限界를 判斷하기 위해서는 應力을 正確히 評價할 必要가 있다. 그러므로 이에 관하여 살펴 보기로 한다. 간단한 境遇에는 理想的인 金屬과 簡單한 摩擦條件을 假定하므로서 流動形狀이나 流動應力을 豫測할 수 있다. 그러나 여기에는 많은 假定이 包含되어 있고 또한 複雜하므로 實際로는 實驗的이고 半經驗的인 方式이 주로 採擇된다.

冷間押出로 材料가 均一한 變形을 받고 摩擦이 없다면 punch 壓力은 面積減少率과 平均降伏應力에 의하여 決定된다. 그러나 이러한 狀況은 實際에 있어서 存在하지 않으며 實際壓力은 均一한 變形과 過多變形(redundant deformation), 그리고 摩擦에 必要한 壓力들의 疊이다. 즉 押出壓力은 다음과 같다.

$$P = \bar{y}(\alpha + b \ln R + F) \dots (1)$$

$P$  = 押出壓力

$\bar{y}$  = 適當한 溫度, 變形度, 變形率에서의 金

屬의 平均 降伏強度

$\alpha$ =過多變形에 必要한 壓力에 關聯된 常數

$b$ =所定의 形狀으로 加工하는데 必要한 均一한 變形에 關係되는 常數

$R$ =押出比(처음 面積/最終面積)

$F$ =billet 와 Container 사이의 摩擦을 考慮한 常數

같은 다이角은 過多일과 摩擦力에 影響을 미치지 billet 와 Container 사이에 摩擦이 없다고 가정한다면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$P/\bar{Y} = (0.9 - 1.6 \cot \alpha) + (1.5 + 0.8 \cot \alpha) \ln R \dots \dots (2)$$

여기에서

$\alpha$ =다이角의 1/2이다.

이 方程式은 不均一 變形에 대한 다이角과 다이에서의 摩擦의 影響을 考慮하고 Container 摩擦을 無視했다는 것 외에 (1)식과 비슷하다.

前方押出에서 punch 壓力에 대한 Container 摩擦의 影響은 다음 식으로 表示할 수 있다.

$$P_0 = P + \frac{4P_0 L \mu}{D} \dots \dots (3)$$

여기에서

$P$ =後方押出에 대한 押出壓力

$P_0$ =前方押出에 대한 押出壓力

$L$ =billet 의 길이

$\mu$ =billet 와 Container 壁 사이의 摩擦 係數

$D$ =棒押出時는 Container 의 直徑.

(2)식과 (3)식은 押出比가 2를 넘을 때는 잘 들어 맞는다. 押出比가 더 작을 때에는  $R$ 의 logarithm 代身에  $R$ 에 依據한 類似한 公式이 더 좋은 結果를 준다.

(2)식과 (3)식에 의하면 特定한 押出比에서 平均 punch 壓力은 다이角에 따라 變한다. 例로서 이 公式을 보면 押出比가 5이고 摩擦係數가 一定하다면 다이角이 150°일 때는 다이角이 120°일 때 보다 押出壓力이 9% 적다는 것을 알 수 있다.

押出에 있어서 Die 와 Punch 는 가장 重要한 것이다. 이들은 흔히 300,000 psi 以上の 큰 壓力에 견디어야 하기 때문에 이의 設計와 製造에 細心한 注意가 必要하다. 設計는 各各의 工程에 따라 다르기 때문에 一般的인 原則을 세운다

는 것은 힘들다. 그러나 金屬의 流動이 均一, 즉 모든 다이孔에서의 速度가 均一하여야 하는 것은 모든 設計에 共通點인 것이다. 만일 材料의 流動速度가 한 斷面에서 變化하면 그것으로 인하여 引張力이 發生하고 이것이 充分히 높으면 工具는 부서지게 된다. 그리고 押出되는 部品에 潤滑劑가 均一하게 分佈되어 있지 않으면 工具와 部品의 表面들 사이에 金屬과 金屬의 接觸이 생겨서 다이와 punch 는 急速히 磨滅된다.

熱도 考慮하여야 할 問題點이다. 押出時에 內외의 摩擦力은 部品의 溫度를 上昇시킨다. 만일 이 溫度上昇이 適切히 調節될 수 있다면 金屬의 流動을 돕고 部品과 工具는 過熱되지 않는다. 만일 이 熱로 인하여 潤滑劑가 機能을 發揮할 수 없다면 galling 이 일어난다.

壓力이 크기때문에 다이를 設計할 때에는 降伏을 考慮하여야 한다. 一般적으로 다이는 最大押出

壓力에 이르면 약간 膨脹한다. 그러므로 이것을 考慮하지 않았다면 部品이 所要의 것보다 약간 커지게 된다. 이런 高壓에 견디게 하는 한가지 方法은 Die가 縮少링 (Shrink ring)에 의하여 製造時에 壓縮應力이 걸리게 하는 것이다. 그래서 押出時에 다이가 壓力을 받을 때 이 壓縮力은 이 때 發生하는 引張力을 相殺한다.

冷間押出에서 適切한 工具鋼을 選擇하는 問題는 큰 負荷가 工具를 降伏強度 근처에 이르게 하기 때문에 매우 重要하다. 더구나 材料는 빠른 反復荷重, 衝擊荷重과 굽힘應力, 壓縮變形等에 견디어야 한다. 그래서 이것을 滿足시키려면 降伏強度가 引張強度가 사이에 있어야 하고 熱處理를 잘해야 한다. 一般적으로 다이部品은 硬度和 韌性中에서 어느 것이 더 重要하나에 따라서 定해지나 Rc 60~68로 完全히 硬化한다. 이들이 매우 까다로운 것 같지만 많은 工具材料들이 있으며 간혹 磨滅抵抗을 높이기 위해서 工具表面을 nitriding 하거나 chromium plating 하는 수도 있다.

冷間押出에서 billet 의 潤滑膜은 매우 많이 늘어나야 할뿐 아니라 甚한 壓力에도 견디어야 한다. 지금까지 鋼의 冷間押出이 發達되지 못한 主原因은 이 潤滑問題때문이었으며 phosphate 潤滑劑가 發見됨에 따라 押出技術이 急速히 進展되었다. 冷

押出에 必要한 磷酸鹽被膜(phosphate coating)을 위해서는 다음의 9段階가 必要하다.

- ① 알카리溶液에서의 洗滌(grease와 oil을 除去)
- ② 溫水에 씻음(알카리除去)
- ③ 酸洗(scale을 除去하고 表面을 etching 함)
- ④ 冷水에 씻음(酸除去)
- ⑤ 다시 溫水에 씻음(phosphating을 促進시키기 위하여 slug를 加熱)
- ⑦ zinc phosphate-phosphoric acid 溶液에서 coating(slug 表面에 緻密한 zinc phosphate crystal이 달려붙게 하기 위하여)
- ⑦ 冷水에 씻음(過剩의 磷酸鹽被膜을 除去)
- ⑧ 中和液에 씻음(殘有酸을 中和함)
- ⑨ soap의 溶液(Bonderlube)에 넣음

潤滑膜의 두께는 0.010~0.015inch가 適當하다. 인산염피막과 潤滑工程은 slug의 化學成分 特히 chromium, molybdenum, vanadium, 그리고 tungsten에 의하여 影響을 받는다. 이 磷酸鹽被膜은 押出品의 磨滅과 貯藏中の 腐蝕을 防止해 준다. 最近에는 鋼의 押出에서 潤滑劑로 molybdenum-disulphide를 使用하여 押出을 成功的으로 遂行하였다. 面積減少率이 40% 以下일 때는 molybdenum-disulphide만을 潤滑劑로 使用할 수 있으나 40% 以上일 때는 slug를 먼저 zinc phosphating한 후 molybdenum-disulphide로 處理하는 것이 必要하다. 이렇게 함으로써 80~90%의 面積減少率도 容易하게 얻을 수 있다.

押出할 slug는 加工形態와 金屬의 物理的 特性에 따라 適切히 調節된다. 모든 slug는 必要한 重量의 2~3% 以上の 重量을 超過하면 안된다. 特히 鋼鐵 slug는 不活性雰囲気의 muffle 爐에서 1250° F에서 約 3~4 時間, 그리고 750° F로 爐冷한 後에 空冷하는 등 熱處理하여 完全히 球狀化 處理를 하여야 한다.

한 部品을 生産하는데 冷間押出의 使用與否를 決定하는 것은 그렇게 簡單한 問題는 아니다. 한 部品을 生産하는데는 여러가지 工程이 可能하여서 先 그 部品에 適合한 材料, 所要의 性質, 熱處理나 切削加工의 有無, 加工에 必要한 機械形式 Die 設計, 潤滑 등을 決定하여야 한다. 그러나 이런 要素들은 서로 密接하게 關係를 맺고 있기때

문에 하나 하나를 따로 따로 決定한다는 것은 不可能하다. 例를들면 spark plug body 같은 작은 部品은 press와 header로 加工할 수 있다. 그러나 各各의 機械는 材料, 다이 形狀等의 特性이 다르다. 그러므로 實際의 技術問題를 解決하기에 앞서 各 工程의 經濟性을 따져볼 必要가 있다.

冷間押出은 다른 方式으로 加工하려면 切削加工이 必要한 大量의 對稱品을 生産에 가장 經濟的이다. 形狀은 꽤 簡單하여야 하고 重量도 작아야 한다. 對稱性은 매우 重要하며 特히 棒材가 가장 生産하기 쉽다. Die 設計에 있어서 날카로운 모서리는 應力集中을 일으켜서 다이 破壞의 原因이 되므로 피하여야 한다. 더구나 潤滑膜等도 押出이 進行하는 동안 날카로운 모서리에서 分離되기 쉽다.

冷間押出을 하여 部品을 加工하면 材料가 20~80% 節約될뿐만 아니라 生産時間도 50%까지 줄일 수 있다. 여기서는 熱間加工에서처럼 scale이나 熱傳達이 問題가 되지 않으며 加工硬化 때문에 低價의 金屬으로 高價의 金屬을 代置하거나 加工後의 熱處理를 省略할 수 있다. 平均 工具費는 많아야 生産과 材料費의 15%이고 工具壽命은 材料와 形狀에 따라 다르나 5,000~500,000개의 部品을 生産할 수 있다. 그러나 製造品의 크기에는 限度가 있고 加工할 수 있는 金屬은 그 種類가 制限되어 있다. 또한 加工할 수 있는 形狀에는 制限이 있어 複雜한 形狀은 加工할 수 없으며 高度의 技術이 必要하다.

上記의 모든 問題들을 考慮해볼 때 冷間押出의 展望은 매우 밝다. 強하고 매우 加工度가 좋은 部品을 生産할뿐만 아니라 scrap 損失을 줄일 수 있다는 점은 모든 engineer들의 關心을 끄는 거이다. 工具費가 약간 비싸지만 材料, 工程, die 設計, 技術, 潤滑等의 모든 結들이 漸次的으로 改善됨에 따라 加工分野에 있어서 冷間押出은 漸漸 그의 活用範圍가 넓어지고 있다.

以上에서 言及한 爆發加工法과 冷間押出法을 우리 韓國에서도 漸次實施하는 한편 研究開發을 繼續해가면 産業經濟에 革新的인 變化가 있을 것이고 發展途上에 있는 우리 韓國은 技術의 面에서 先進國과의 格差를 줄일 수 있을 것으로 믿는 바이다.