

摩 擦 壓 接 에 關 한 考 察 (1)

—Inertia 法을 中心하여—

吳 世 奎
(釜山水產大學 船用機械工學科)

1. 序 論

〈沿革과 現勢 및 展望을 中心하여〉

摩 擦 壓 接 의 發 端 은 1954年 朝 鮮 의 I. Chudikov란 旋 盤 工 이 作 業 中 偶 然 히 鋸 齒 와 加 工 物 의 燒 付 로 부 터 힌 트 를 얻 어 金 屬 의 接 合 에 摩 擦 熱 을 利 用 할 것 을 提 案 하 여 旋 盤 을 改 造 해 서 金 屬 丸 棒 의 摩 擦 壓 接 實 驗 에 成 功 한 데 서 始 作 되 었 고, 이 것 을 VNIIESO(소 련 電 氣 熔 接 機 研 究 所) 가 받 아 들 어 1956年 부 터 開 發 研 究 를 하 여 1957年 同 所 에 서 開 發 된 摩 擦 壓 接 機 MST-1이 發 表 되 었 다.

이 보 다 앞 서 1891年 英 國 에 서 wirerod를 壓 接 하 는 方 法 의 特 許 가 成 立 되 고, 1954年 에 도 이 方 法 에 關 해 考 察 되 어 1961年 에 實 用 化 되 었 는 데, B.W.R.A.(英 國 熔 接 研 究 協 會) 가 開 發 研 究 한 摩 擦 壓 接 機 가 發 表 되 었 다.

독 일 에 서 는 第 二 次 大 戰 中, 熱 可 塑 性 合 成 樹 脂 pipe의 接 合 이 應 用 한 바 이 고, 오 늘 날 아 헨 및 하 노 바 工 科 大 를 中 心 으 로 研 究 가 行 해 지 고 있 다.

美 國 에 서 는 1958年 부 터 同 法 에 關 한 研 究 가 A.M.F.社 및 California工 科 大 學 에 서 開 始 되 어 1961年 A.M.F.社 에 서 試 作 機 가 發 表 된 후, 1964年 A.M.F.社 의 Cheng이 flywheel法(inertia法) 摩 擦 壓 接 機 를 開 發 했 고, 그 후 Caterpillar社 로 製 作 권 이 넘 어 갔 고 그 자 매 會 社 인 Production Technology社 가 研 究 보 급 에 힘 써 왔 으 며, 1967年 부 터 caterpillar를 위 해 Inertia welder의 設 計, 組 立, 自 動 化 를 담 당 해 온 Adams Engineering社 의 자 매 회 사 Manufacturing Tec-

hnology社가 1976年 에 設 立 되 어 Inertia welding process를 適 用 한 Inertia welder를 研 究 보 급 하고 있 고, 오 늘 날 Cornell大 學 校 의 Wang 등 의 研 究 가 活 潑 하 다.

日 本 에 서 는, 1969年 VNIIESO의 Vill의 著 書 “金 屬 의 摩 擦 熔 接”이 譯 介 된 것 이契 機 가 되 어, 1963年 機 械 試 驗 所(現, 機 械 研 究 所)에 서 實 驗 機 를 試 作 한 후, 現 在 摩 擦 壓 接 機 Maker는 8社 나 되 며, 同 法 을 採 用 하고 있 는 User는 約 300工 場, 摩 擦 壓 接 機 의 設 置 臺 數 는 1000臺 를 넘 고, 技 術 者 는 約 700~800名 된 다 고 한 다. 이 런 기 세 界 의 優 位 를 누 리 고 있 는 것 은, 1964年 各 試 驗 所, 研 究 所, 工 場, 大 學 등 의 研 究 者 가 摩 擦 壓 接 研 究 懇 談 會(現, 摩 擦 壓 接 研 究 會)를 設 立 하 여, 이 를 中 心 하 여 同 法 의 實 用 化 가 急 速 히 進 展 되 었 고, 慶 應 大 學 工 學 部 의 蓮 井 研 究 陣 의 研 究 가 매 우 活 潑 하 다.

이 와 같 이 摩 擦 壓 接 法 이 近 20年 의 歷 史 를 가 진 熔 接 法 이 지 만 아 직 낯 선 部 類 에 屬 하고 있 다.

特 히, 國 內 에 서 는 本 機 의 Maker는 全 히 없 고, brake法 에 依 한 것 에 限 해 User로 서 는 2~3個 社 에 不 過 하고 inertia法 에 依 한 것 은 1個 社 만 으 로 生 考 되 며, 또 한 잘 알 려 지 지 않 은 實 情 이 고, 同 法 및 이 의 應 用 面 의 學 術 的 研 究 는 筆 者 등 에 依 해 1973年 부 터 꾸 준 히 進 行 되 어 왔 고, 앞 으 로 는 支 援 에 依 해 더 욱 活 潑 히 繼 續 될 것 이 다.

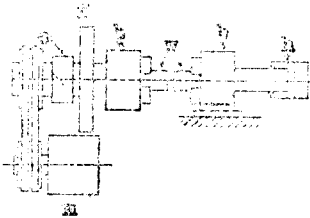
先 進 國 에 서 의 摩 擦 壓 接 實 用 化 를 보 면, 自 動 車 部 品 製 造 工 業 을 中 心 하 여, 產 業 機 械, 農 業 機 械, 電 氣 機 械 部 品, 船 用 機 關, 航 空 機, 미 사 일 등 의 部 品 및 工 具 製 造 工 程 등 에 널 리 採 用 되 고 있

어서, 오늘날 우리나라도 政府의 重工業育成方針에 의해 急速度로 機械工業이 發達됨에 따라, 이 摩擦壓接法이 各種 陸用, 航空用, 船舶用 機械의 生産一線에서 應用되어 生産時間과 工程의 短縮, 生産原價의 節減, 異種材料의 接合特性利用 等の 解決이 可能할 展望이 밝게 되었으므로, 摩擦壓接法에 關하여 계속 考察해 나가기로 한다.

여기서는 먼저 美國에서 開發된 Inertia法 (flywheel法이라고도 함) 摩擦壓接에 關하여 考察코자 한다.

2. 摩擦壓接(inertia法)의 原理

摩擦壓接(inertia法)의 process는 두 素材(棒)를 接合하고자 하는 境遇, Fig.1과 같은 inertia friction welder의 主軸 chuck에 한쪽 棒을 固定한 flywheel 等の 一體物이 一定 速度(2500~3000 rpm)로 急加速 回轉되고 一定 時間(1~2 초) 後 電子 clutch에 의해 驅動이 차단되면 tail stock(心押臺)에 固定된 다른 棒과 回轉棒의 推力과 回轉에 依하여 回轉加壓摩擦이 生기고 (Fig.2), 이때 回轉體의 速度가 減速됨에 따라



b : bearing c : clutch f : flywheel
h : cylinder m : electric motor w : 素材

Fig. 1. Inertia Welder

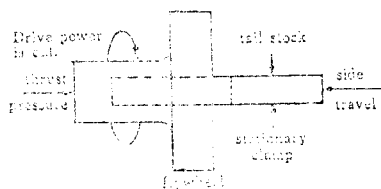


Fig. 2. 摩擦壓接(Inertia式) Process의 機構概略圖

라 慣性(inertia)에 依해서만 回轉하던 flywheel에 貯蓄된 運動에너지가 全部 摩擦熱에너지로 轉換되어 두 棒의 壓接面이 plastic 溫度下에서 回轉과 加壓에 依한 forging work를 일으켜 慣性에 依한 回轉이 停止함과 同時에 接合이 끝난다. 이때 加壓에 依해 突起된 ring 모양의 flash는 壓接完了後 冷却 前에 flash除去機에 依해 쉽게 除去될 수 있다.

Inertia摩擦壓接法에 依한 壓接完成時間(1~10초)은 brake式 摩擦壓接에 依한 것 (10~60초)의 1/10程度이며 壓接部에 미치는 熱浸透 速度도 훨씬 빠르며 brake摩擦壓接에서의 單位 面積當 入力(energy-input rate)이 約 1.6ps/cm²인데 比해 inertia法의 境遇는 3.2~24ps/cm²에 達하여 壓接部에 oxides나 voids가 없는 우수한 壓接이 이루어진다.^{8,9)}

Fig.3은 inertia法과 brake法 摩擦壓接 cycle의 壓接變數 性能 比較圖이며 Fig.4는 壓接面熱 入力 分布圖이다.⁹⁾

Fig.3에서 inertia法의 境遇가 torque 및 溫度 上昇率 등이 훨씬 높고 壓接時間은 훨씬 짧다는

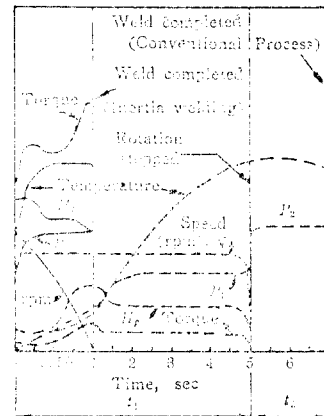


Fig. 3. Inertia法과 brake式 摩擦壓接 cycle의 壓接變數 性能 比較圖

Welding parameters : Inertia F.W. Process : 1. moment of inertia, I ; 2. initial speed, N ; 3. thrust pressure, P .

Brake type F.W. process-1. rotating speed, N ; 2. initial heating pressure, P_1 ; 3. heating time, t_1 ; 4. upsetting (braking). time, t_2 ; upsetting pressure, P_2 .

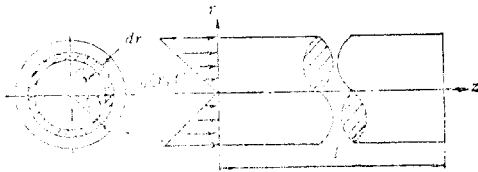


Fig. 4. 熱入力の 分布

事實을 알 수 있다.

Fig.4에서 壓接面의 熱入力과 熱傳導에 對해 考察⁹⁾하면 다음과 같다.

摩擦力에 依해 接觸面에 發生하는 熱量 q 는 中心에서 半徑方向 距離 r 와 回轉速度 $n(t)$ 의 函數 이므로,

$$q = \frac{12000\pi}{427} \mu \cdot p \cdot r \cdot n(t) \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \dots (1)$$

잇금친 dr 部分에 作用하는 入力에 對한 熱量 q' 는,

$$q' = \frac{24\pi^2}{4270} \mu \cdot p \cdot n(t) \cdot r^2 dr \text{ kcal/hr} \dots (2)$$

여기서, μ : 摩擦係數

p : 單位面積當 推力 (kg/cm²)

$n(t)$: 回轉數 (rpm) (時間 t 의 函數)

r : 中心으로 부터의 距離

따라서, 1壓接 cycle 中 全接觸面에 發生한 總 熱量 Q 는,

$$Q = 1.54 \times 10^{-5} \int_0^T \int_0^R \mu(r, t) \cdot p(r, t) \cdot n(t) \cdot r^2 \cdot dr \cdot dt \dots (3)$$

여기서, R : 壓接素材의 半徑 (cm)

T : 總壓接時間 (sec)

또, 壓接始作直前의 回轉體의 總運動에너지 E 는,

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{I}{2} \left(\frac{2\pi N}{60} \right)^2 \text{ kg} \cdot \text{m} \dots (4)$$

이것이 모두 摩擦熱로 전환되면

$$Q = \frac{E}{J} \dots (5)$$

여기서, I : 回轉體의 極慣性 moment (kg·cm·sec²)

N : 初期回轉數 (rpm)

ω : 角速度 (rad/sec)

J : 熱의 當量 (427kg·m/kcal)

實驗에 依하면 回轉速度 $n(t)$ 와 時間 t 의 關係曲線이 大略 二次曲線으로 表示되므로,

$$n(t) = at^2 + bt + c \quad (a, b, c \text{는 常數}) \dots (6)$$

따라서, (3)式에 (6)式을 代入하여 (3)式을 積分하면,

$$Q = 8.0 \times 10^{-7} \mu \cdot P \cdot R^3 \cdot T (2aT^2 + 3bT + 6c) \dots (7)$$

(7)式과 (4)式을 (5)式에 代入하여 μp 에 關해 풀면 μp 의 값은,

$$\mu p = \frac{16.1 \text{ IN}^2}{R^3 T (2aT^2 + 3bT + 6c)} \dots (8)$$

μp 의 값을 A 라 하면 (1)式의 熱入力 q 는,

$$q(r, t) = 88.3 A \cdot r \cdot n(t) \dots (9)$$

이것이 양쪽 棒으로 各各 均一하게 作用한다고 하면,

$$q(r, t) = 44.1 A \cdot r \cdot n(t) \dots (10)$$

이 式에서 熱入力 q 는 中心에서의 거리 r 에 比例함을 알 수 있다.

한편 固體內의 不安定熱傳導에 對한 一般 偏微分方程式을 適用하면,

$$\frac{\partial^2 T'}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T'}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T'}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T'}{\partial z^2} + q' = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T'}{\partial t} \dots (11)$$

여기서, T' : 溫度

t : 時間

α : 固體의 熱擴散度

q' : 固體內의 單位體積當 熱降下

z, r, ϕ ; Fig.4에서의 座標軸 및 回轉角

로 表示되며 Fig.4에서 回轉對稱體內에서의 熱降下が 적다고 보면 (11)式은,

$$\frac{\partial^2 T'}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T'}{\partial r} + \frac{\partial^2 T'}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T'}{\partial t} \dots (12)$$

初期狀態의 固體內의 溫度는 어디나 均一하므로,

$$T'(r, z) = T_{\infty}' \dots (13)$$

여기서, T_{∞}' : 周圍溫度

따라서, 境界條件은

$$-\kappa \left[\frac{\partial T'}{\partial z} \right]_{z=0} = q(r, t) \dots (14)$$

$$\left[\frac{\partial T'}{\partial r} \right]_{r=0} = 0 \dots (15)$$

$$\left[\frac{\partial T'}{\partial r} \right]_{r=R} = h(T_s' - T_m') \dots\dots\dots (16)$$

$$\left[\frac{\partial T'}{\partial z} \right]_{z=l} = 0 \dots\dots\dots (17)$$

여기서, κ : 材料의 熱傳導度
 $q(r, t)$: (10)式에서 表示되는 壓接境
 界面에서의 熱入力 函數
 h : 熱傳達의 平均係數
 T_s' : 圓周面에서의 溫度
 l : 棒의 길이

위의 여러 式들을 뒷받침하는 軟鋼棒(SAE1020)에 對한 inertia 摩擦壓接部의 溫度分布에 關한 實驗結果⁶⁾는 紙面上 省略하고 다음에 inertia 摩擦壓接의 特性에 關해 說明한다.

3. Inertia 摩擦壓接의 接合特性

Inertia法에 依해 壓接된 境遇의 接合特性은 다음과 같다.

- ① Brake式 摩擦壓接의 壓接條件(變數)¹⁰⁾이 回轉速度, 加熱時間, 加熱壓力, 加壓時間, 加壓壓力等 5個인데 比해, inertia法 境遇는 flywheel 質量, 回轉速度 및 推力의 3個 條件이 壓接性能을 調節하며 이 세 變數에 依해 超一貫性의 壓接을 얻기 爲한 調整이 쉽다^{4,5,7)}.
- ② 두 壓接素材는 軸方向으로 加壓되어 맞대기 이음(butt joint)을 形成한다^{5,7)}, 그러나 圓錐形 butt welding이 可能하다.
- ③ 두 壓接素材中 하나는 壓接面이 圓形이거나 圓形에 가까운 것이라야 하며 이것이 棒이든 管이든 相關없다^{5,7)}.
- ④ 推力和 torque가 一般 機械加工力보다 커야하므로 inertia welder의 工具나 附屬品 設計時에 고려되어야 한다.
- ⑤ 形成된 壓接部는 強力한 固相結合을 나타내며 溶融이 일어나기 直前에 塑性金屬(plastic metal)이 밀려나온다.
- ⑥ 이 塑性金屬의 代替가 本來의 壓接面의 粗糙性을 一掃하고 不純物을 壓接部에서 追放해준다^{4,10)}.
- ⑦ 壓接 結合部에서의 flash(ring모양의 突起

部)는 境遇에 따라 除去될 必要가 있다.

⑧ 壓接週期中에는 단지 壓接面에서 극히 좁은 部分만이 加熱된다. 따라서, 壓接部는 熱降下 役割을 하는 隣接 冷金屬母材에 依하여 담금질(quenching)이 된다. 이때, 壓接部의 硬度나 強度가 增加되나 硬度의 差나 殘留應力을 없애고 多小의 韌性을 주기 爲해 境遇에 따라서는 適切한 熱處理가 必要하다^{10,11)}.

⑨ inertia法의 非溶融溫度(plastic temperature)와 急速한 壓接 cycle時間(數秒)과 回轉鍛接 등이 여러 種類의 金屬接合에 理想的 條件을 提供한다.

⑩ 異種材質의 優秀한 壓接이 經濟的으로 그리고 連續的으로 成就될 수 있다.

⑪ 操作法이 매우 簡單하고 쉬우며 壓接面의 清潔이나 壓接棒 및 添加劑가 必要없으며 多量 生産이 可能하다.

⑫ 壓接部의 熱影響部는 매우 좁으며 溶融生成物이나 粒子成長이 없고 두 異種材質이 보다 強力하게 混合되어 緻密한 微細組織을 갖는다(Fig.5)⁴⁾.

⑬ 最適 inertia welding의 壓接條件^{5,7)}下에서 壓接된 試片의 引張強度는 壓接部가 母材에서 일어나며 비틀림 疲勞破斷 역시 壓接部 아닌 母材에서 일어나므로 inertia F.W.에 依한 壓接強度가 優秀함을 알 수 있다^{3,4,8,10)}.

以上の 諸特性中 어떤 것은 生産성에 有益한 長點이 되나, 어떤 것은 應用面に 制限을 示唆

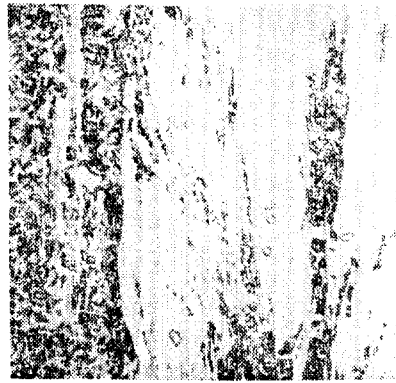


Fig. 5. Inertia 摩擦壓接된 SAE8630-IN713C의 壓接部組織(100X).

라고 있다.

4. 壓接素材의 接合形狀과 크기限度

壓接에 適應되는 두 壓接素材의 代表的 接合形狀은 管과 管, 管과 平板, 管과 棒, 管과 圓筒, 棒과 棒, 棒과 平板 等이다.

摩擦壓接 素材의 크기는 各種 壓接機에 따라 다르나 主軸 Chuck에 물릴 最大直徑 限界가 15.2mm, 22.9mm, 25.4mm, 30.5mm, 45.7mm, 63.5mm, 101.6mm로 되어 있다. 그러나 오늘날 낮은 直徑이 2.54mm보다 작은 drill로 부터 直徑 610mm의 wheel에 이르기까지 摩擦壓接이 可能하며 길이는 25.4mm이하의 것부터 5.5m 이상에 이르기까지 接合可能하다. 生産型 摩擦壓接機에 依하면 6mm~102mm直徑의 鋼棒 또는 外徑 760mm가 넘는 얇은 두께의 管을 接合할 수 있다. 經濟的 妥當性만 있다면 보다 크거나 작은 크기의 接合도 可能한 것이다.

5. Inertia 摩擦壓接의 材質限度

Inertia F.W.의 重要한 特性中의 하나는 廣

Table 1. Inertia 摩擦壓接이 可能한 代表的 金屬 材料 一部

同 種 材 質	異 種 材 質
炭 素 鋼	高速度鋼과 諸種의 鋼
stainless 鋼	燒結鋼과 軟鋼
工 具 鋼	316 stainless鋼과 Inconel
燒 結 鋼	stainless鋼과 中·低炭素鋼
合 金 鋼	1100 및 6061 aluminum과 中炭素鋼
aluminum 合金	cobalt系 合金과 鋼
銅	347 stainless鋼과 17-PH
黃 銅, 青 銅	純粹 titanium과 302 stainless鋼
molybdenum	銅과 1100 및 6061 aluminum
waspalloy	銅과 中炭素鋼
cobalt 合金	銅과 諸種의 合金
titanium	銅合金과 銀 tungsten
zinc alloy	aluminum 青銅과 中炭素鋼
Inconel	nickel系 合金과 鋼
nickel 合金	valve材料와 合金鋼 및 炭素鋼

(bearing type은 除外)

範圍한 金屬을 接合할 수 있다는 點이다. 鍛接이 可能한 金屬은 거의 어느 것이나, 그리고 베어링 材質이 아닌 金屬은 거의 모든 것이 壓接되며 심지어 他 熔接法으로는 困難하거나, 不可能한 異種材質의 接合도 摩擦壓接法으로는 可能하다. 그러나 鑄鐵에서는 그래파이트(graphite)가 摩擦性能을 低下시키므로 慣性熔接이 困難하며 熔融성이 낮은 朱錫이나 납 等の 含量이 큰 靑銅合金을 壓接하기에는 多少 困難한 點이 있다^{8,9)}. Table 1에 inertia F.W. 이 可能한 金屬 材料表를 部分的으로 表示하였다.

6. 摩擦壓接法(inertia法)의 應用 및 經濟性

摩擦壓接法을 金屬材料의 接合에 應用함으로써 生産工程의 簡素化, 時間과 勞動力의 節約, 材料의 節約 等으로 生産原價를 節減할 수 있는 것은 事實이다.

美國內 生産工場에서의 그 實例로서 國產化 展望이 큰 것을 調査하여 다음과 같이 紹介하고자 한다.

(1) Pump shaft: stainless鋼만으로 機械加工하여 만드는 대신 $\phi 31.75 \times 152.4$ mm의 stainless鋼과 값싼 $\phi 31.75 \times 213$ mm의 SAE1018軟鋼을 壓接한 것(最小全長 357mm가 됨)을 機械加工(大部分 軟鋼 쪽에서 시도)하여 製造하였을 때 45%의 材料費 減少와 10%의 機械加工費 節約을 얻었고 壓接部에 對한 金屬顯微鏡 組織檢査 結果 優秀한 壓接임이 判明되었으며 이 摩擦壓接된 펌프軸이 3500rpm에서 시운전 되었을 때 아무런 異常이 없었다. 壓接時間은 2~4秒에 不過하였고 材料損失은 단지 8mm 以內였으며 生産率은 手動일 때 時間當 120個, 自動일 때 時間當 280個를 生産할 수 있었다.

(2) 排氣閥브(自動車 Diesel engine用 및 gasoline engine用, 舶用 Diesel engine用); 直徑 9.14mm의 排氣閥브를 生産할 때 高價의 耐熱合金인 head部와 多少 값싼 耐摩減性 低合金鋼 stem部와의 摩擦壓接이 flash butt welding을 代身하였을 때, 每時間當 600個의 生産이 可能하였다. valve生産에 摩擦壓接이 應用되는 主理

點은 flash의 容易한 除去와 벨브의 異種材質의 成功的 接合과 多量生産性의 可能性에 있는 것이다. 實驗結果 摩擦壓接에 依한 valve가 flash butt welding에 依한 것보다 熔接性能이 優秀하여 더욱 強靱하다는 것이 判明되었다¹⁰⁻¹²⁾.

(3) Power control drive shaft; SAE1045 鋼材로서 $\phi 49.23 \times 30.2$ mm 棒과 $\phi 25.30 \times 1004.1$ mm 軸과의 摩擦壓接이 upset 鍛造工程과 5個 矯正工程 等を 代替함으로써 個當 \$12.17의 費用을 節減시켰고(1972年度基準), 疲勞試驗 結果 破斷이 熔接部에서 일어나지 않아 優秀한 接合 結果였음을 알 수 있다.

(4) trunnion과 空·油壓 cylinder와의 接合; gas metal arc welding代身에 摩擦壓接을 應用함으로써 個當費用이 71% 節減된다.

(5) 軸과 pinion의 熔接: 鍛造된 8630鋼材

pinion과 SAE1035鋼材 管軸과의 摩擦壓接은 upset鍛造에 依한 것에 比해 約 50%의 生産原價 節減을 얻었다.

(6) gear blank ($\phi 190.5$ mm)와 軸($\phi 35$ mm)과의 慣性壓接; 加壓 gas熔接에 比해 90%의 生産時間 節約을 얻을 수 있다.

(7) bolt; SAE4140 鋼材 16.13cm² 正四角 head와 $\phi 28.52$ mm의 shank를 摩擦壓接하여 bolt를 만들면 機械加工에 比해 55%의 生産原價 節減이 있다.

(8) drill과 shank熔接; flash butt熔接代身 摩擦壓接에 依하면 約 10%의 生産原價 節減을 얻을 수 있다.

(9) 그外 代表的인 摩擦壓接의 應用과 그 經濟性을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. 摩擦壓接法(inertia法)의 應用 實例와 經濟性 (1972年 美國內 調査)

品 名	재 질, 규 격	중 전 가 공 법	경 제 성
트랙롤러 어셈블리 (Track roller assembly)	5.188" ϕ × 0.500 두께	서브머지드 아아크 (Submerged arc) 용접	17% 생산원가 절감
불 및 피니언카스터 기어 (Bull & pinion cast gear)	SAE 8620 관과 관 4.06" 외경 2.62" 내경	일체 (一體) 단조	시간과 생산원가 절감
드라이브샤프트 요우크 (Drive shaft yoke)	SAE 1038 1.125" ϕ 봉과 단조물	일체 단조	"
드 릴 (Drill)	M10 고속도강과 SAE 4140 스크, 0.750" ϕ	flash butt welding	개당 0.30 \$ 절감 시간당 160개 생산
자동차 액슬 (Axle)	disc SAE 1045, 축 SAE 1020, 1.82" ϕ	일체 단조	시간과 생산원가 절감 성능우수
트레일러 브레이크 캠 (Trailer brake cam)	SAE 1040 1.814" ϕ	일체 단조	시간당 60개, 개당 24% 생산원가 절감
자동차 트랜스미션 출력축 (Automotive transmission output shaft)	관 SAE 1020 축 SAE 1141 축 직경 1.417" ϕ	단조 및 기계가공	유점부가 1,500 ft. lbs의 견딜
프린트 프레스 롤러 (Printing press roller)	SAE 1020	기계가공 (press fit) 과 용 접조립	journal end에서 70%의 재료절약
프로펠러 축 (Propeller shaft)	SAE 8620 304 스테인 리 스강, 1.187" ϕ	일체 스테인리스 단조	55%의 생산 원가 절감
리프트 링크볼 소켓 (Lift link-ball socket)	SAE 1045 연강관과 축 1.47" ϕ	단조링크 (forged link) 와 아아크 (arc) 용접 슬리브 (sleeve)	35%의 재료절약, 32%의 노동력 절감, 1개당 7.48 \$ 절감
자동차 후부 액슬 축 (Automotive rear axle shaft)	관 SAE 1010, 포오크 (fork) 0.34~0.40", spline 0.42~0.50" ϕ 봉	아아크 용접	우수한 유전 강도 노동력 절감 시간절약, 비용절약

□ 解 說

팬 샤프트 (Fan shaft)	SAE 1018 플랜지 2.00"φ 축	슈린크 핏트 아크용접 (shrink fit arc Weld.)	생산 원가 절약
브레이크 리버 축 (Brake lever shaft)	탄화, 경화축과 연장판 1.25"φ	아아크 용접	길의 향상과 개당 0.16 \$ 절약
스피드 실렉터 축 (Speed selector shaft)	연장요오크(yoke) SAE 1045 축 3/4"φ	핀 결합 (pinned assembly)	개당 \$ 2.61 절약
트랙 캐리어 롤러 브라켓 (Track carrier-roller bracket)	강판과 0.375"두께의 구 조 강판 볼류	SAE 1024의 캐스팅 (casting)	개당 4.72 \$ 절약
유압 피스톤로드 어셈블리 (Hydraulic piston rod assembly)	크롬백기될 인발 강봉과 관에서 절단한 아이(eye)	일체 단조	50% 생산원가 절약이 예 상됨
자동차 트랜스미션 입력축 (Automotive transmis- sion input shaft)	SAE 1141 축 SAE 1010컵(cup) 축경 1.417"φ	단조 및 기계 가공	용접 성능 우수 용접부가 1500 ft·lbs에 견딜
오일 펌프 기어 (Oil pump gears)	SAE 1018 톱 절단 (saw cut), 냉간 인발 봉	일체 단조	개당 15~30%의 원가절감
디스크 브레이크 캘리퍼 (Disc brake caliper)	SAE 1020 0.187"두께 × 2.275"φ 컵(cup)과 판 (plate)	malleable iron casting	기계가공의 난점을 일소시 켜줌
트랙 로울러 부싱 (Track roller bushing)	SAE 1010과 1010	아아크	개당 0.5 \$ 절약
전직기 로울러 (Textile rollers)	SAE 1020 외판 33/16-7/16"두께 내판 1 1/2-7/16"두께	아아크	원가 절감
자동차 조정 로드 (Steering rod)	판 1020과 육각봉 1045 판 0.75"φ와 판	일체 단조	원가 절감 성능 우수
자전거 디스크 브레이크 결 합물(Disc brake assem- bly)	SAE 1020 판과 1010판 2"φ, 1/8"두께 판과 강판	아아크 또는 가단 주철	원가 절감 용접 성능 우수
자전거 포크(Fork)	SAE 1020상은 압연판과 fork 단조물	아아크용접 플래쉬 버트 용접	용접성능 매우 우수, 다량 생산, 생산원가 절감, 작업 간단
키웨이 커터 (Key way cutter)	SAE 6145 생크와 M-4 공구강 커터헤드	기계 가공	재료, 기계가공, 시간절약, 25% 생산원가 절감, 시간 당 100개 생산능력
고압 호우스 카플링 (High-pressure hose coupling)	SAE 1141 스퍼드 (spud)와 스템(stem), SAE 9630의 관을 소정 크기와 형상으로 굴곡	노내 브레이징(furnace brazing) 정밀기계가공, 특수 표면처 리, 열처리 브레이징(bra- zing)에 의한 프레스핏트 조인트(press fit joint)	생산 기간이 40%로 단축 스크랩(scrap)비가 25~30 %로부터 1%로 감소
에어 콘디셔너 팬축 (Air conditioner fan shaft)	SAE 1016축, 2-3/8"φ SAE 1010판, 37/64 두께 × 5-5/32"φ SAE 1010봉, 2-3/8"φ	아아크 또는 플래쉬 버트 용접 (flash butt welding)	용접 성능 우수 생산 원가 절감

7. 結 論

以上과 같이 摩擦壓接法(inertia法)의 特性과 應用 및 그 經濟性의 優秀함을 論하였고 應用 實例를 列擧함으로써 摩擦壓接의 迅速한 國產化에 조금이라도 寄與하고자 하였다. 先進國에서는 高壓容器나 宇宙産業用材料의 熔接에도 慣性壓接을 應用할 만큼 그 應用範圍가 넓으며, 오늘날 우리나라의 機械工業도 크게 發達되어 機械生産品의 質的向上과 生産原價節減을 통한 國產機械類의 海外市場 開拓 및 競爭勝利를 爲해 우리나라에도 摩擦壓接法이 應用되어야 할 때가 왔다고 確信한다.

參 考 文 獻

1) T.L. Oberle, C.D. Loyd and M.R. Calton, Metal Progress, Vol. 87, No. 6, p.104, June, 1965.
 2) T.L. oberle, C.D. Loyd and M.R. Calton, SAE Trans, Section 3, Vol. 75, pp.28~35,

1967, SAE paper 660470 (Ariz, Sec. Meeting), Oct. 7, 1965.
 3) T.L. Oberle, M.R. Calton, C.D. Loyd and C. F. White, US patent No. 3, 273, 283, Sep. 20, 1966.
 4) 吳世奎, 大韓造船學會誌, 9卷 2號, p.43~48, 1972.
 5) 吳世奎, 釜山工專研究論文集, 13卷, p. 147~159, 1973.
 6) 吳世奎, 釜山工專研究論文集, 17卷, p.223~235, 1976.
 7) 吳世奎, Journal of P.T.C., Vol. 18, p.203~214, 1977.
 8) AWS, "Welding Handbook," Chap. 50, Friction Welding, 50.3—50.37, 1970.
 9) ASM, "Metals Handbook," Vol. 6, Friction Welding, pp.507~518, 1971.
 10) 吳世奎, 大韓機械學會誌, 第14卷, 第3號, p.221~232, 1974.
 11) 吳世奎, 韓國漁業技術學會誌, 14卷 2號, p.79~87, 1978.
 12) 吳世奎, 大韓機械學會 1980年度 春季學術大會發表 (1980.7.26韓國科學院에서 發表).

