

플라스마 아크 粉體肉盛法에 의한 Al合金의 硬化厚膜 合金化層의 形成  
- 表面 合金化層의 硬化特性 및 耐摩耗性에 미치는 Si 添加의 效果 -

天工工業專門大學 熔接技術科 \* 朴 成 斗  
忠南大學校 工科大學 機械工學科 李 暎 浩  
大阪大學 溶接工學研究所 材料學部門 中田一博  
" 松田福久

## 1. 緒 論

알루미늄(Al) 및 그 합금은 輕量으로 比強度(specific strength)가 높은 특성을 이용하여 航空機, 自動車 등의 輸送 및 産業機器 分野에 널리 이용되고 있다. 따라서, 최근 구조물의 경량화를 위하여 輕量の 構造材料로서 알루미늄 합금이 주목되고 있으나, 알루미늄 합금은 鐵鋼材料에 비하여 耐摩耗性이 현저하게 떨어지고 있다. 이 때문에 Al系 材料의 表面에 단단하고 두꺼운 硬化層을 형성하는 것이 중요한 과제로 되어 있으며, 최근에는 알루미늄의 合金表面에 두께가 mm-order의 厚膜表面 硬化層의 형성이 요구되어 오고 있다.<sup>(1)</sup> 이와같은 후막표면의 경화층을 형성하기 위해서 表面을 용융하는 合金化法이 유효한 방법의 하나로써 생각되고 있다<sup>(1)</sup>. 이것을 위한 열원으로서는 高 에너지 密度의 熱源인 electron beam<sup>3-5)</sup>, laser beam<sup>6-11)</sup> 및 plasma arc<sup>12)</sup> 등의 이용이 시도되어 오고 있으나, 이들 방법 중에서 플라스마 粉體肉盛法(이하 PTA 이라고 한다.)이 실용적으로 가장 유효한 방법의 하나로써 생각되고 있다.

이 때문에, 本 研究에서는 表面을 용융하는 熱源으로서 PTA법을 사용하고, 알루미늄 합금의 表面에 Si粉末을 첨가하여 내마모성이 우수한 厚膜의 表面硬化 合金化層을 형성시키는 것을 검토하였다. Si는 알루미늄 합금의 耐摩耗性을 향상시키는 合金元素로서 알려져 있으며, 최근에는 耐摩耗性을 보다 더 향상시키기 위하여 Si의 첨가량을 증가시키는 검토가 진행되어 오고 있으나 현재로는 20~25wt.%가 한도로 되어 있다.

따라서, 本 研究에서는 PTA법을 사용하여 적절한 合金化層의 形成條件과 硬化特性 및 耐摩耗性의 평가를 행하고, 形成組織과의 관계에 대하여 고찰을 하였다.

## 2. 使用材料 및 實驗方法

### 2.1 使用材料

母材는 비교적 強度가 높은 알루미늄 合金(A5083)板(150<sup>1</sup>×100<sup>2</sup>×12<sup>3</sup>)을 사용하였으며, 合金化의 粉末材料로서는 순도 99.9%의 Si 合金粉末을 사용하였다.

### 2.2 實驗方法

#### 2.2.1 PTA 肉盛法에 의한 合金化層의 形成法

플라스마 아크에 의해 母材의 表面층을 일정한 移動速度로 용융하면서, 토치 내에서 Si粉末을 플라스마 아크 속을 통하여 熔融池에 공급하고, 熔融部에 모재와 공급된 Si 분말과의 합금화층을 형성하였다.

PTA 肉盛電源으로는 인버터식 交流兩用熔接機(plasma 粉體肉盛裝置, NPPS 100형)를 사용하였으며, 本 研究에서는 直流正極(DCEN)으로서 실드가스는 He을 사용하였다. 플라스마 아크 전류는 175A에서 250A까지 변화시켰으며, 토치의 移送速度는 500mm/min로 일정하게 하였다. 粉末供給量은 5~20g/min로 변화시켰고, 토치의 선단과 모재표면과의 거리는 8mm로 일정하게 하였다.

### 2.2.2 합금화층의 組織觀察 및 形成 相의 同定法

얻어진 합금화층에 대하여 우선 그 表面外觀과 斷面形狀을 관찰하였다. 그리고, 斷面 試驗片에 대하여 機械研磨(emery paper #1200까지), 버프연마( $Al_2O_3$  0.3 $\mu$ m까지) 및 電解腐食(2% 硼弗化水素酸溶液, 30V, 90sec)을 한 후, 光學 및 走査型 電子顯微鏡(SEM)의 관찰, EPMA(Electron Probe Micro Analyzer)에 의한 元素分析을 실시하여 합금화층의 形成 相의 同定을 하였다.

### 2.2.3 합금화층의 硬度測定法

합금화층의 경도측정은 Micro Vickers 硬度計를 이용하여, bead 단면에 대하여 측정 하중 9.8N, 하중 유지시간 20sec, 측정위치간 거리 0.5mm로 각각 설정하여 측정하였다. 摩耗試驗片에 대하여서는 摩耗面의 硬度를 동일하게 측정하였다.

### 2.2.4 합금화층 斷面에서의 初晶 Si의 體積率 測定

初晶 Si가 생성한 합금화층에 대하여서는 이들 입자의 體積率을 측정하였다. 측정은 합금화층의 上·中·下部에 대하여 光學顯微鏡의 寫眞上(사진배율 $\times$ 400, 시야범위 $5\times 5$ mm)에서 點算法(345 교점)에 의해서 실시하였다.

### 2.2.5 합금화층의 摩耗試驗法

합금화층의 耐摩耗性은 大越式 迅速 摩耗試驗機를 사용하여 평가하였다. 摩耗試驗片의 크기는  $25^w \times 50^l \times 12^t$  mm이며, 肉盛試驗片에서 肉盛 bead部가 시험편의 중앙부 길이방향에 위치하도록 잘라내었다. bead의 덧살부분을 연삭한 후 emery paper #1500까지 연마하여 대기중의 無潤滑狀態에서 마모시험을 실시하였다. 마모의 상대재에는 SUJ2계 回轉圓盤(Hv650, 직경 30mm)을 사용하였다. 마찰하중 10N, 마찰거리 100m, 마찰속도 4.36m/sec로 일정하게 하였고, 식(1)에 의하여 比摩耗量(specific wear)을 구하였다.

$$W_s = B b_o^3 / 8 r p_o l_o \quad (1)$$

여기서,  $W_s$  : 비마모량( $mm^3/Nm$ )      B : 회전원반의 두께(mm)  
 $b_o$  : 마모흔의 폭(mm)              r : 회전원반의 반경(mm)  
 $p_o$  : 하중(N)                               $l_o$  : 마찰거리(m)

## 4. 結 論

알루미늄 合金의 表面에 厚膜表面 硬化層을 형성하기 위한 기초적인 연구로서, A5083의 母材에 直流 PTA法을 이용하여 母材表面을 용융하고, 그 熔融池에 Si 粉末을 공급하여 表面에 合金化層을 형성하였다. 移送速度는 500mm/min로 일정하게 하고, 플라즈마 아크 전류는 175~200A, 粉末供給量은 5~20g/min의 조건범위에서 적정한 肉盛條件과 合金化層의 形成組織에 대하여 검토를 하여 다음의 결과를 얻었다.

1) 合金化層의 形成에는 모재의 表面에 충분한 熔融池의 形成이 요구된다. 즉, 表面이 아름답고 양호한 合金化 bead의 形成은 일정한 移送速度의 경우에는 플라즈마 아크 전류와 粉末供給量에 의존하고, 플라즈마 아크 전류가 크게 될수록, 또, 粉末供給量이 적을수록 양호한 bead가 形成된다. 이 양호한 合金化 bead가 얻어지는 적정한 條件範圍는 플라즈마 아크 전류가 225A 이상이었다. PTA法에 의해 Si量이 최고 약 67wt%까지의 合金化層을 形成하는 것이 가능하였다.

2) 合金化層이 形成된 組織은 Al-Si의 2元系 平衡狀態圖에서 形成하는 相과 일치하였다.

3) Si 합금화층에 있어서 합금화층의 硬度는 Si量에 따라 증가하고, 本 研究의 범위 내에서 最高硬度는 약 67wt% Si에서 약 Hv220~310이었다. 또, 합금화층 内에서는 균열의 발생은 보이지 않았다.

4) Si 합금화층의 耐摩耗性은 初晶 Si量이 증가함에 따라 현저하게 向上되었지만, 初晶 Si量이 약 30% 이상에서는 거의 一定値에 포화하였다.

#### 參 考 文 獻

- 1) (財)金屬系材料研究開發センター-(JRCM)報告 : Al表面ミリオ-ダ-硬化技術調査報告書, (1989)
- 2) 松田福久 : アルミニウム表面厚膜硬化技術の現状と可能性, 輕金屬, Vol. 40, No. 10 (1990), pp. 746-752.
- 3) W. Hiller : Rev. Souldure, Vol. 36, (1980), pp. 159.
- 4) B. Vinet and Paidassi : Rapidly quenched metals, Elsevier science publisher, (1985), pp. 937.
- 5) M. H. Sohi and T. Bell : Proceedings of 2nd International conference on Power Beam Technology, The welding Institute, UK, (1990), pp. 286.
- 6) J. D. Ayers : Thin Solid Films, Vol. 84, (1981), pp. 323.
- 7) A. W. Walker, W. H. Steem and D. R. F. West : Aluminium Technology · 86, The Institute of Metals, London, Vol. 88, No. 1, (1986).
- 8) F. Matsuda and K. Nakada : Transactions of JWRI, Vol. 17, No. 2, (1988), pp. 457.
- 9) E. Gaffet, J. M. Pelletier and S. B. Jobez : Applied surface science, Vol. 43, (1989), pp. 248.
- 10) M. Pierantoni and Z. Blank : Proceedings of the 2nd IFHT Seminar, Lisbon, (1989), pp. 317.
- 11) G. Ricciardi, M. Cantello, G. Molino, W. Varani and E. Carlet : Proceedings of 2nd IFHT Seminar, Lisbon, (1989), pp. 415.
- 12) 清水, 永井, 松田, 中田 : プラズマ粉體肉盛溶接法によるアルミニウム合金表面への炭化物複合化, 輕金屬, Vol. 40, No. 10, (1990), pp. 761-767.
- 13) Colin J. Smithells : Metals reference book (5th Edition), Butterworths, pp. 188.
- 14) Thaddeus B. Massalski : Binary Alloy Phase Diagrams (vol. 1), ASM, (1986), pp. 164.
- 15) 中島, 納富, 草野, 上田 : 超硬質材料による表面硬化肉盛溶接法の研究, 三菱重工技報, Vol. 18, No. 4, (1981), pp. 93.
- 16) L. M. Mondolfo : Aluminum alloys : structure and properties, Butterworths, (1976), pp. 250, 338.
- 17) 溶接學會編 : 溶接-接合便覧, 丸善, (1990), pp. 1010.