

# AlZnMgCu0.5 합금의 Electron Beam 및 Plasma 용접성에 관한 연구

계명대학교 : \*차용기  
배석천

Dortmund 대학교 : H. D. Steffens

## 1. 서 론

Al 합금은 철구조물에 비하여 그의 높은 비강도 특성으로 인하여 정적, 동적의 높은 응력을 받는 구조물의 재료로서 산업 전분야에 걸쳐서 광범위하게 적용되고 있다. 그 한 예로 고강도 7000계 알루미늄 합금은 비강도가 높고 가공성, 성형성, 내식성이 우수하여 항공기, 자동차, 선박등 수송용 재료는 물론, 이의 소형 구조용 재료로 각광을 받고 있다. 더우기 최근 모든 구조물의 경량화 추세로 Al 소재를 사용하는 분야에서는 AlZnMgCu0.5 합금과 같은 고강도 Al 재료의 적용성 문제가 더욱 광범위하게 확대되고 있다. 그러나 이와 같은 우수한 기계적 성질 및 요구 조건에도 불구하고 고강도 7000계 알루미늄 합금은 용접 설계시 여러 가지 문제점을 안고 있다.

즉 이소재에 MIG 및 TIG 같은 기존 용접 Process 적용시 용접부를 따른 높은 입열량으로 열영향부(Heat Affected Zone)를 따른 미소 조직 변화 및 고온 균열 (Hot Cracking) 발생에 의해 강도 특성 및 기계적 성질에 악영향을 미치고 있다/1,2/.

더우기 7000계열 Al 합금에 있어서 Cu를 함유한 경우 응력 부식 균열 (Stress Corrosion Cracking) 문제로 인하여 특별한 후열 처리 조건이 요구되며, 또한 Cu는 소입 민감도를 증가시켜 HAZ부를 따른 고온 균열을 야기시키므로 기존의 MIG나 TIG Process의 적용이 어렵다. 이러한 이유에서 AlZnMgCu0.5 및 AlZnMgCu1.5 합금은 일반적으로 오직 한정된 범위내에서 용접 관련 분야에 적용되고 있다/3/.

고밀도 에너지를 이용한 Plasma Arc Welding Process (PAW) 및 Electron Beam Welding Process (EBW) 용접 과정에서는, 가열 냉각 과정에서 나타난 열이력 곡선이 비교적 짧은 Time Interval로 나타나므로 미소 열영향부를 같이한 용접부가 형성된다. 또한 짧은 용접 열 Cycle에 의한 인장 강도 및 0.2% Proof Stress 의 미소한 저하로 말미암아 기존 Process에 의한 용접부에 비하여 높은 강도 특성

을 나타낸다/4/. 그러나 이러한 고밀도 열원을 이용한 용접부 역시 용접 과정에서 Pore 및 고온 균열 발생으로 인하여 일반적으로 모재 금속에 비하여 낮은 기계 야금학적 특성을 나타낸다.

따라서 본 연구에서는 고강도 AlZnMgCu0.5 합금에 PAW 및 EBW와 같은 고밀도 용접 Process 적용시 나타난 기본 용접성에 대한 고찰과 여러 용접 조건의 변화에 따른 모재 금속내의 Zn 및 Mg의 높은 증기압에 의한 Pore 및 Crack 발생 기구에 대하여 중점적으로 고찰하고, 이외 각 용접 부위별 미소 조직 변화는 물론 각 용접 입열량에 따른 석출물과 그 전위 분포 관계를 종합 검토 분석하여 접합부 특성 개선은 물론, 지금까지 오직 한정된 범위내에서 이용되었던 PAW 및 EBW Process 적용 범위를 넓히는데 그 최종 목표가 있다.

## 2. 실험 방법

본 연구를 위하여 사용한 모재 금속은 AlZnMgCu0.5 합금으로, 이외 비교 연구 목적으로 AlZnMgCu1.5 합금을 사용하였다. Table 1은 각 사용 모재의 화학 조성을 나타낸다. 사용한 모재의 두께는 8mm<sup>t</sup>이고 용가재로는 AlMg4.5Mn에 미량의 Zr이 첨가된 두께 1.2mm의 Wire Type 용가재를 사용하였다.

Table 1 : Chemical compositions of base materials. (wt.%)

| Compositions<br>Material | Si    | Fe    | Cu      | Mn    | Mg      | Cr                | Zn      | Zr    | Al   |
|--------------------------|-------|-------|---------|-------|---------|-------------------|---------|-------|------|
| 7022                     | 0.190 | 0.269 | 0.634   | 0.172 | 3.122   | 0.151             | 4.565   | 0.027 | Bal. |
| 7075                     | 0.4<  | 0.5<  | 1.2~2.0 | 0.30< | 2.1~2.9 | 0.18<br>~<br>0.35 | 5.1~6.1 | -     | Bal. |

용접 시편의 크기는 100mm×80mm×8mm로 Bead on Plate 및 Butt Type 용접 모두 동일 크기의 모재를 사용하여 PAW 및 EBW Process 적용시 그 입열량 변화에 따른 기계 야금학적인 특성 변화를 비교 검토하였다.

Table 2는 본 연구에 적용된 기본 PAW 및 EBW 조건을 나타낸다.

Table 2 : Welding conditions of plasma and electron beam.

Plasma Arc Welding

| Welding Process | Plate Thickness (mm) | Wire $\phi$ (mm) | Shield Gas Ar 4.8 (l/min) | Plasma Gas Ar 4.8 (l/min) | Welding Voltage (V) | Welding Current (A) | Welding Speed (cm/min) | Nozzle Dia. (mm) |
|-----------------|----------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------|
| Plasma          | 8                    | 1.2              | 14>                       | 10                        | 35                  | 135<br>145          | 28<br>36               | 2                |

Electron Beam Welding

| Welding Process | Plate Thickness (mm) | Wire $\phi$ (mm) | P (Torr)  | Acceleration Voltage (kV) | Welding Current (mA) | Welding Speed (mm/s) | Wire feed Speed (mm/s) | Wire Angle ( $^{\circ}$ ) | $a_b$ |
|-----------------|----------------------|------------------|-----------|---------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|-------|
| Electron Beam   | 8                    | 1.2              | $10^{-3}$ | 100                       | 47                   | ·20<br>·40<br>·60    | 30                     | 45                        | 1     |

3. 실험 결과 및 고찰

Al 및 Al 합금 용접부 강도 특성에 대한 결정적인 영향은 Crack 및 Pore가 밀집하여 나타날 수 있는 Base Metal과 Weld Metal 사이의 천이 영역 형성에 있다.

Fig. 1은 135A 및 145A의 용접 조건에서 나타난 7022 합금의 용접부 조직으로, 145A의 높은 입열 조건에서 낮은 Pore 밀도값은 용접 전류와 용융풀의 교란 및 유동성 또한 용가재의 적용 여부에 상당한 상관 관계가 있음을 알 수 있다.

이 145A의 용접 조건에서 얻은 용접 시편의 인장 강도는 평균적으로  $285\text{N/mm}^2$ 에 달하였고, 또한 인장 시험중 시편의 파괴는 30%이상 Fusion Boundary에서, 약 20%가 모재 금속 및 이외 약 30%가 용접부 중심부를 따라 일어났다.

Fig. 2는 7022 합금 용접부의 Fusion Boundary 및  $350^{\circ}\text{C}$  열 영향부 영역에서 나타난 석출물 분포 및 그 형상으로,  $350^{\circ}\text{C}$  영역의 열 영향부를 따라 평형상에 가까운 석출물이 모상의  $\langle 100 \rangle$  방향을 따라 많이 존재하고, 또한 이 온도 영역에서 상당히 불균질한 크기의 석출물 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다/ Fig. 2b/.

각 영역에서 석출물 형태 및 크기에 따른 TEM/EDX 분석 결과 Fusion

Boundary내 존재하는 구형의 석출물은 주로 Al, Mg, Cr, Cu, Zn 성분계로, 이 영역에서의 고온 균열 발생을 위한 석출상으로 작용될 수 있는  $Al_2Mg_3Zn$  및  $Al_6CuMg_4$  Phase의 저융점계 Al Mixed Crystal (약 460°C)로 나타났으며/Fig. 2c/, 또한 Plate Type의 준안정 석출물은 Al, Cr, Cu, Zn계로 이루어져 있음을 알 수 있다/Fig. 2e/.

결국 이 영역에서의 고온 균열 발생 기구에는 주로 Al, Zn, Mg, Cu가 작용되고 있음을 알 수 있다.

EBW Process를 통한 우수한 용접부 특성을 얻기 위한 기본 조건은 Weld Edge 및 End Face of Joint의 정밀한 가공 조건에 있다. 예를 들어 모재 두께 및 표면 가공 조건의 미소 변화는 Hot Crack이나 Pore의 생성 원인이 될 수 있다.

Fig. 3은 7022 Al 합금의 EB 용접시 용접 속도 변화에 따라 형성된 용접부 조직 사진으로 40 및 60의 빠른 용접 속도에 비하여 20mm/s의 낮은 용접 속도에서 Pore 및 Crack이 존재하지 않는 이상적인 용접부가 형성되어 있음을 알 수 있다. 이것은 이러한 용접 조건에서 용융풀이 충분한 유동성을 가지고 생성 Pore와 상호 작용하여 효과적인 탈가스 과정이 이루어졌음을 알 수 있다/Fig. 3a/.

그러나 60mm/s의 용접 조건에서는 빠른 용접 속도에 의하여 용접부를 따른 Pore 생성과, 용접부 중심의 Solidification Cracking은 물론 열 영향부쪽으로 계속적인 Liquefaction Cracking이 형성되어 있음을 알 수 있다/Fig. 3c/.

그러나 PAW 용접부에서 나타난 현상과는 달리, EBW에 의한 고밀도 에너지 효과로 Weld Seam과 Base Metal 사이의 Fusion Boundary를 따른 Endothermic Reaction에 의한 응고 영역이 존재하지 않음은 물론, 수소와 연관된 Pore 생성 역시 발생되지 않았음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

고강도 AlZnMgCu0.5 합금의 Plasma Arc 및 Electron Beam Welding Process 적용을 위한 연구 과정에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

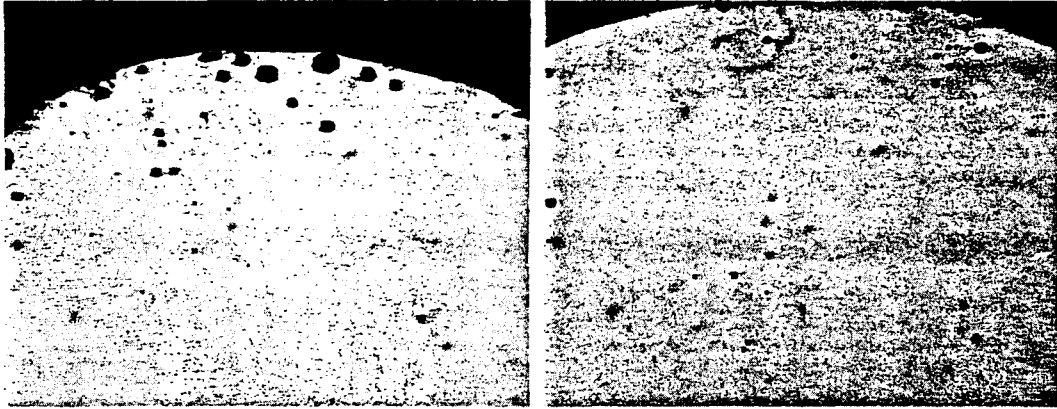
- Plasma Arc Welding Process를 통한 AlZnMgCu0.5 합금 용접부 특성 관찰에서, 모재와 용융풀 사이의 Fusion Boundary 영역에서 Endothermic Reaction에 의한 Pore의 동결 및 이것에 기인된 잔류 수소 가스의 생성압을 통한 Pore의 지속적인 성장을 통하여, Weld Edge부를 따른 다공성의 Pore 밀집 영역 생성이 가장 큰 문제점으로 도출되었다.

- Electron Beam Welding Process를 통한 AlZnMgCu0.5 합금 용접부 특성 관찰에서는, Plasma Arc에 비하여 집중 가열된 열 에너지를 통한 전체적인 Exothermic Reaction에 의한 응고 기구 형성으로 용접부를 따른 Pore의 생성 문제는 크게 발생되지 않았다.

그러나 AlZnMgCu0.5 합금이 가진 넓은 Solidification Interval에 비하여 Electron Beam 용접 Process상에서 나타난 용접열 Cycle 곡선의 짧은 Time Interval로 용접부 중심부를 따라 Solidification Cracking은 물론 HAZ부를 따라 상당히 넓은 범위에 걸쳐서 Liquation Cracking이 형성되었다.

## 5. 참고 문헌

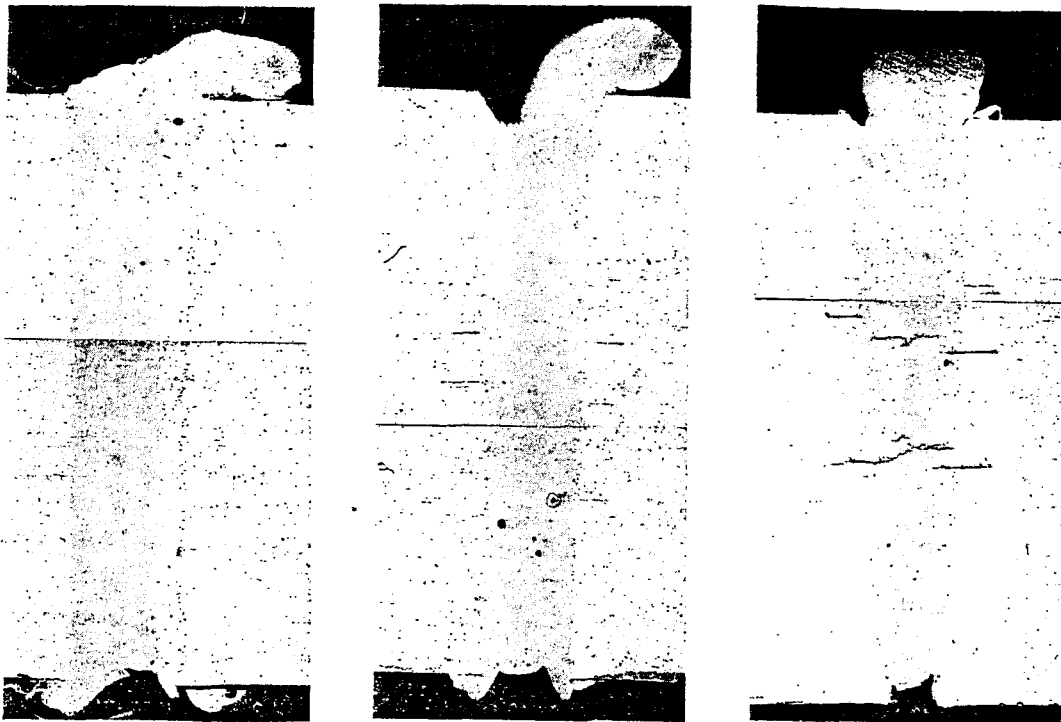
1. Gönner, P. :  
Einfluß der Schweißwärme auf die mechanischen Eigenschaften aushärtbarer Aluminium-Knetlegierungen,  
Aluminium, 46. Jahrg., 1970, S. 575 - 577
2. Suck-Choun Bae :  
Untersuchungen zur Korngrenzensprödigkeit und Heißrißbildung Schweißtemperatursimulierter Gefüge einer AlMgSi0.7-Legierung,  
Dissertation Universität Dortmund, 1985
3. Gruhl W. und Cordier, H. :  
Das Spannungsrißkorrosionsverhalten der AlZnMg-Legierungen,  
Aluminium, 44. Jahrg., 1968, S. 403 - 411
4. Brenner, P. :  
Entwicklung von Aluminiumlegierungen mit hoher Festigkeit im geschweißten Zustand,  
Aluminium, 43. Jahrg., 1967, S. 225 - 238



a) Welding current : 135A

b) Welding current : 145A

Fig. 1. Cross section of the plasma arc welding with AlMg4.5Mn. (26×)



a)

b)

c)

Fig. 3. Cross section of the electron beam welding. (16×)

a) Welding speed : 20mm/s

b) Welding speed : 40mm/s

c) Welding speed : 60mm/s

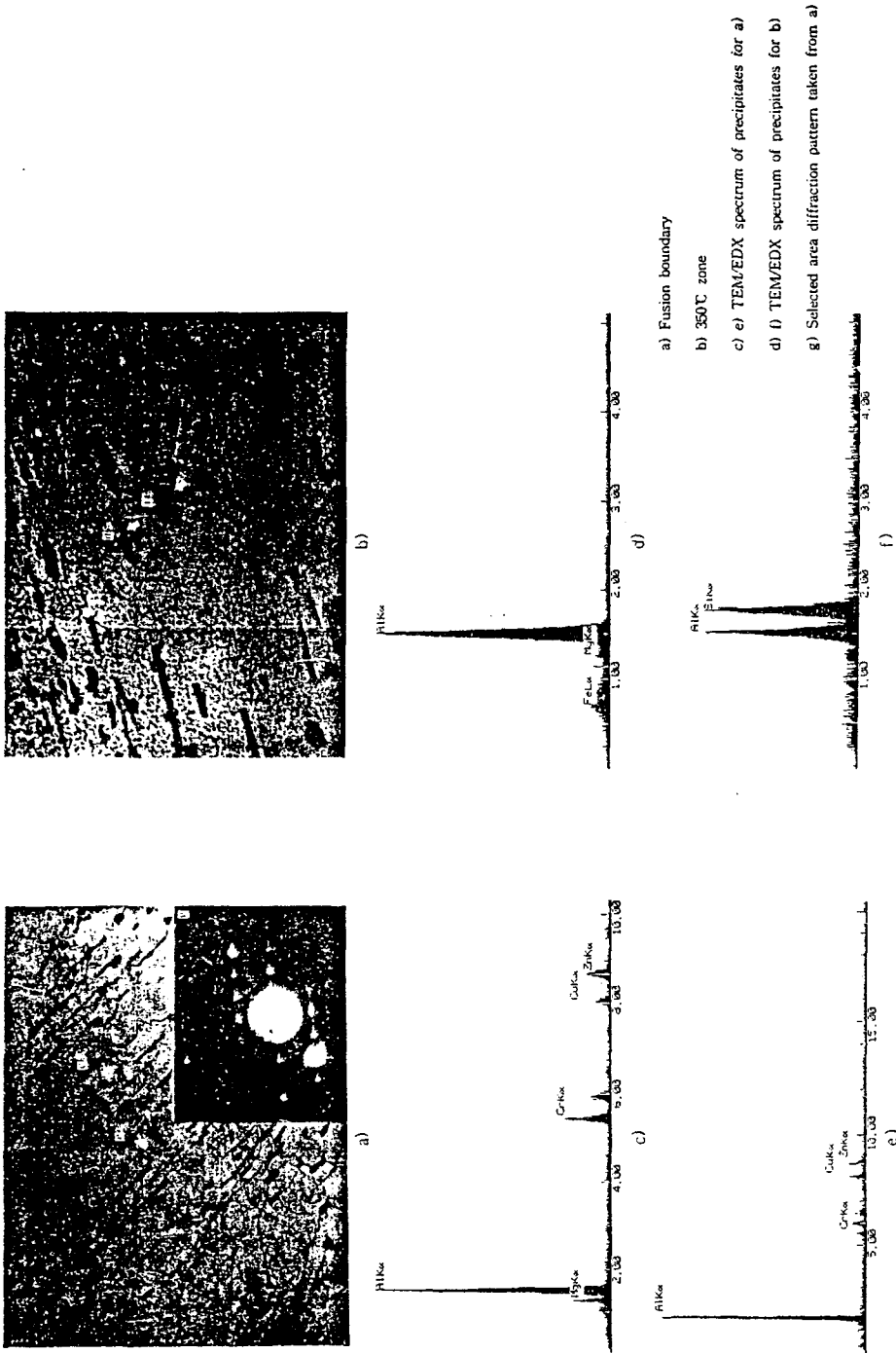


Fig. 2. Transmission electron micrographs of the heat-affected zone in the AlZnMgCu0.5 alloy at the fusion boundary and 350°C zone in as welded state. (12,000×)