

7000 계열 高强度 Aluminum 合金의 高温龜裂 感受性 평가

韓國機械研究院
金桓泰, 黃善孝

1. 序 言

7000 계열의 Al-Zn-Mg Aluminum 합금은 고온에서 용체화처리 (solution treatment) 후 저온으로 급냉시킨 재료를 약 150°C 이하의 온도로 가열시킬 때 석출되는 시효 석출물에 의해서 강도를 증가시키는 석출 경화형 합금으로서 용접구조물용 경량소재로 활용 범위가 넓다.

그런데 Al-Mg-Zn계 Aluminum 합금의 높은 강도는 Mg, Zn와 주강화원소와 Mn, Zr, Cr, Ti 등의 천이원소의 합금조성과 함께 적절한 열처리 작업을 통해 최적의 기계적 성질이 얻어지도록 합금설계가 되어 있기 때문에 구조물 제작시 용접에 의한 아크열을 받게 되면 열이력 (thermal cycle)에 의해 모재의 미세조직이 변화되고 용접균열이 발생하여 강도의 약화와 함께 내식성 등이 저하되므로 재료를 사용하기에 앞서 Aluminum 합금 용접부에 발생하는 중요 용접결합인 고온균열의 발생상태를 조사할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 국내의 Aluminum 구조물의 용접 생산기술 향상에 기여하고 관련 제품의 품질향상을 위해 Al-Zn-Mg 계통의 7000 계열 고강도 Aluminum 합금 용접부의 고온균열감수성을 분석하고 고온균열 거동을 검토하였다.

2. 實驗材料 및 實驗方法

2. 1 실험재료

실험에 사용한 재료는 두께 10mm의 7000 계열 Al-Zn-Mg 합금으로서 0.1 기압 정도까지 진공이 가능한 전기저항도에서 제조되었다. 용해작업은 탈가스제를 첨가하여 탈가스한 후 0.1 기압의 진공에서 용탕중에 Ar 가스를 약 5분

동안 취입하여 용탕중 불순물을 제거하고 주형에 주입하였다. 또한 균질화 처리와 압출가공, 용체화 처리를 한 후 2단 시효처리를 실시하였다.

2. 2 Vareststraint 고온균열시험

Al-Zn-Mg 계열 고강도 Aluminum 합금 용접부의 고온균열감수성을 분석하기 위해 TIG-A-MA-JIG Vareststraint 실험장비를 사용하여 고온균열 실험을 실시하였다.

3. 實驗結果

Vareststraint 고온균열 실험을 통해 용접된 고강도 Aluminum 합금 용접부의 미세경도는 Wilson Microhardness 시험기를 이용하여 용접부의 표면부에 대해 5kg diamond의 Vickers scale로 측정하였다.

Fig. 1은 Vareststraint 고온균열 실험 용접후 자연시효에 따른 경도는 변화로서 Heat B, Heat C, Heat D, Heat E 합금의 시효시간에 따른 용접부의 경화 정도가 비슷한 경향을 나타내고 있으며, Heat A 합금은 다른 합금에 비해 상대적으로 낮은 경도를 보였는데 이는 Heat A 합금에 석출경화 원소인 Zn과 Mg 성분의 함유량이 다른 합금에 비해 상대적으로 낮았기 때문이다.

다음 30일 동안 자연 시효된 시편 용접부의 중심으로부터 HAZ 쪽으로 경도분포를 보면 용융부에서 가장 낮은 경도값을 나타내었으며 HAZ와 모재로 갈수록 경도가 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 본 연구에 사용한 모재가 열처리에 의해 강도가 주어지는 heat treatable alloy 계통의 7000 계열 고강도 Aluminum 합금으로서 용접초기에 모재금속이 용접열에 의해 용융된 후 용융부와 HAZ가 많이 연화(softening) 되었다가 시간이 지남에 따라 시효를 일으켜 용접시 크게 낮아졌던 경도가 상당부분 회복이 진행된 상태임을 보여주고 있다.

그리고 Heat B는 비용접용 고강도 Aluminum 합금인 Al 7075와 대등한 수준을 보였는데 이는 Mn의 첨가에 따른 mn-dispersoid 분산상이 석출하여 기계적 성질의 강화에 기여했기 때문이다. 한편 Al 7020 합금과 Al 7039 합금은 다른 합금에 비해 강화형 합금원소인 Zn과 Mg 함유량이 적어 경도값이 적은 상태로 관찰되었다.

Fig. 2는 Vareststraint 실험을 통해 주어진 augmented strain에서 고강도 Aluminum 용접부에 발생한 고온균열의 max. crack length를 나타냈다. 이를 보면 Heat C와 D는 Heat A, E, B에 비해 고온균열감수성이 높으며, Heat A와 E는 다른 합금에 비해 threshold strain이 낮게 나타났다. 즉 Cu를 함유한 합금이 가장 많은 균열을 나타냈고 Mn이 증가할수록 균열발생이 가장 작았으며 이로 보아 Cu는 고강도 Aluminum 합금의 용접성을 떨어뜨리고 Mn은 고온균열의 발생억제에 매우 효과적임을 보여주고 있다.

Fig. 3은 Mn 함유량에 따른 고강도 Aluminum 합금 용접부의 고온균열 거동을 분석하기 위해 max. crack length를 augmented strain 별로 정리한 것으로 이를 보면 augmented strain이 낮은 경우에는 Mn 함유량이 증가할수록 고온균열감수성이 감소하는 경향을 보이고 있으며, augmented strain이 높은 경우에는 0.1~0.2%Mn 일때 고온균열의 발생이 증가하였고 Mn이 0.2% 이상일 때는 Mn이 0.5%일 때까지 고온균열 경향에 아무 영향을 주지 않는다는 Fukui의 실험결과와 달리 고온균열의 발생량이 감소하는 경향을 보였으며 이로 보아 Al-Zn-Mn 계통의 7000 계열 고강도 Aluminum 합금에 첨가되는 Mn 합금원소는 Aluminum 용접부의 고온균열 발생을 억제하는데 매우 효과적임을 나타내고 있다.

4. 結 言

- 1) Cu를 함유한 Aluminum 합금이 가장 많은 Hot Cracking을 나타냈고 Mn-modified Aluminum 합금의 Hot Cracking이 제일 적어 Cu는 고강도 Aluminum 합금의 용접성을 저하시키고 Mn은 Hot Cracking의 발생억제에 많은 효과를 보였다.
- 2) 용접부의 경도분포는 시효시간이 길어짐에 따라 용접열영향부에서 빠른 회복을 보였으며 고강도 Aluminum 합금의 주강화 원소인 Zn과 Mg의 함유량이 적을수록 경도가 낮았다.
- 3) 본 연구의 Vareststraint 실험에서 얻는 Hot Cracking의 total crack length (TCL) 와 maximum crack length (MCL)은 서로 linear 관계를 보였으며 고강도 Aluminum 합금 용접부에서 서로 유사한 경향을 나타냈다.

Table 1. 시효시간에 따른 Aluminum 용접부의 경도변화

시효시간 구분	1일	5일	10일	20일	30일
A	70	75	79	82	85
B	101	105	111	115	117
C	90	96	100	105	107
D	98	104	109	116	118
E	93	100	102	111	115

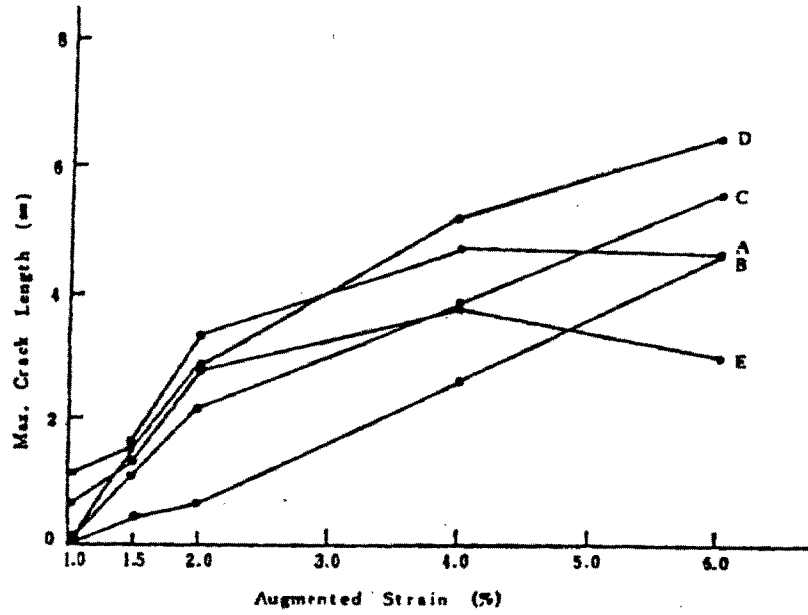


Fig. 1. 고강도 Al-Zn-Mg Aluminum 합금 용접부의 고온균열 발생도

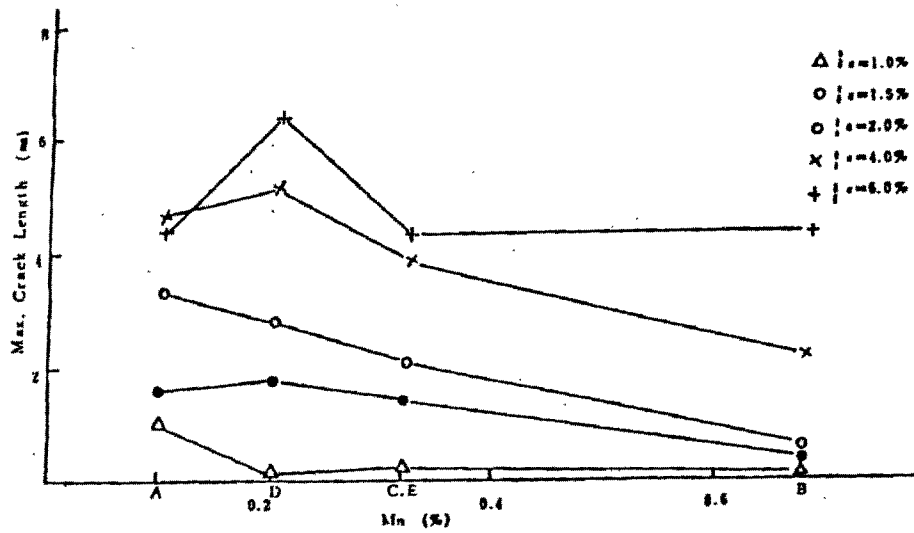


Fig. 2. Mn 함량이 따른 고온균열 발생도