

열처리용 알루미늄 합금의 용접균열에 관한 연구

Weld Crack Susceptibility Of Heat Treatable Aluminum Alloy in Arc Welding Process

김 환 태

한국기계연구원

1. 서 언

알루미늄 합금은 중량이 가벼우면서 인장강도와 항복강도가 높고 가공성, 성형성, 내식성이 좋아 항공기, 자동차, 선박 등 수송용 재료로 각광을 받고 있으며 특히 이들 알루미늄 합금 중에서 Mg와 Si를 주성분으로 하고 Mn, Cr, Ti, Cu, Zr 등의 합금원소를 첨가하여 압출성과 기계적 강도를 향상시킨 Al-Mg-Si 계통의 6000계열 알루미늄 합금과 Zn 과 Mg를 주성분으로 하여 기계적 강도를 향상시킨 Al-Zn-Mg 계통의 7000계열 알루미늄 합금은 구조물용 경량소재로 활용범위가 넓다. 그런데 Al-Mg-Si 계통과 Al-Mg-Zn 계통 알루미늄 합금의 높은 강도는 합금조성과 함께 소정의 열처리 작업을 통해 최적의 기계적 성질이 얻어지기 때문에 용접 아크열에 의한 열이력(thermal cycle)을 받게 되면 모재의 미세조직이 변화되고 용접균열이 발생하여 강도의 약화와 함께 내식성 등이 저하된다. 따라서 열처리용 알루미늄 합금의 용접성을 향상시키기 위하여는 용접부의 미세조직 거동과 용접부에 발생하는 용접균열의 현상을 조사하여 검토할 필요가 있다.

2. 실험 재료 및 방법

본 연구에서는 압출후 시효경화 열처리를 실시한 상용의 6061, 7075 알루미늄 합금과 Mn, Cr, Zr 등의 특수성분을 조절하여 제조한 7000계열의 알루미늄 합금을 사용하여 실험을 하였다. 7000계열의 첨가성분은 Zn=4.2% Mg=2.8% Ti=0.03%를 기준으로 하고 Mn=0~1.0%, Cr=0~0.2%, Zr=0~0.4% 범위내에서 조절하여 용해작업을 실시하였으며 균질화처리와 압출을 거쳐 용체화 처리후 상온에서 약 96시간 정도 자연시효 처리를 실시했다. 다음 인공시효처리 방법은 2단시효처리 방법을 채택하여 1단 시효를 97℃에서 8시간, 140℃에서 10시간 최종 시효처리를 실시하였다. Al-Mg-Si 계통과 Al-Zn-Mg 계열 알루미늄 합금 용접부의 용접균열 감수성은 TIG-A-MA-JIG Vrestraint 시험기를 이용하여 고온균열 발생실험을 실시하였다. 그리고 시차열분석기(differential scanning calorimetry, Perkin-Elmer DSC 7)를 이용하여 Al-Zn-Mg 계열 알루미늄 합금에서 용접중 석출물의 거동과 T_s , T_L 의 정확한 분포를 조사하였으며 용융금속의 응고과정에서 합금성분의 편석과 밀접한 관계가 있는 용접부 조직의 primary dendrite arm spacing을 측정하여 7000계열 알루미늄 합금 용접부의 고온균열 거동을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

External load restraint test 형식인 vreststraint 실험을 통해 주어진 augmented strain에서 열처리용 알루미늄 용접부의 용착비드에 발생한 고온균열의 total crack length를 분석하였다. 이를 보면 상용 알루미늄 합금의 경우 6061 합금이 7075 합금에 비해 용접균열의 발생량이 적게 나타났으며 T6 열처리를 한 것이 T4 열처리를 한 것보다 total crack length가 낮았다. Mn, Cr, Zr 합금의 양을 변화시켜 제조한 7000계열 알루미늄 합금의 경우는 합금성분으로 첨가한 Mn, Cr, Zr이 용접중에 응고균열 발생에 영향을 주어 Zr은 고온균열의 발생을 억제하는데 효과가 있어 Zr이 전혀 첨가되지 않은 합금에 비해 Zr이 첨가된 합금

이 낮은 고온균열 발생 상태를 보였다. 그러나 Zr이 너무 많으면 오히려 고온균열 감수성이 증가하는 경향을 보여서 Al-Zn-Mg 고강도 알루미늄 합금 용접부의 고온균열발생을 낮추는데 필요한 Zr의 유효첨가량은 0.2~0.3% 범위로 나타났다. 한편 Zr이 적은 대신 Mn이 많은 합금(Zr : 0.12%, Mn : 0.72%)이 Zr이 많으면서도 Mn이 적은 합금(Zr : 0.31%, Mn : 0.31%)에 비해 고온균열 발생이 낮아 Mn이 Zr에 비해 고온균열 감수성을 낮추는데 상대적으로 유효한 것으로 나타났다. Cr의 변화에 따른 고온균열 발생은 Cr 함유량이 증가함에 따라 고온균열 발생도 함께 증가하였다. 한편 용접균열의 발생 형태를 볼때 여러개의 균열 가운데 길이가 가장 길고 형상이 두드러진 균열의 발생을 억제시키는데 Mn의 첨가가 효과적이거나, 합금중에 Zn과 Mg이 상대적으로 많이 첨가됐을 경우 용착금속 전반에 걸쳐 균열 발생상태에 많은 영향을 미쳐서 이 경우 잔균열이 많이 발생한 것으로 판단된다. 이로 보아 Al-Zn-Mg 계통의 합금의 고온균열 감수성을 낮추기 위해서는 적절한 Mn의 첨가와 함께 Zn과 Mg의 양을 낮추는 것이 필요한 것으로 나타났다. 본 연구에서 DSC 곡선으로부터 측정된 응고온도 구간과 응고균열 발생상태를 비교하면 알루미늄 합금의 응고구간 범위가 넓을수록 고온균열 감수성이 높았으며 Zr과 Cr의 함유량이 증가 할수록 응고구간이 넓어지는 것으로 나타났다. 또한 고온균열 발생상태와 primary dendrite arm spacing과의 관계를 분석한 결과 primary dendrite arm spacing이 증가함에 따라 고온균열 감수성이 증가하였으며, 알루미늄 합금 용접부의 고온균열 발생은 primary dendrite arm spacing과 더 직선적으로 증가하는 경향을 보였다. 한편 Borland(Generalized Theory)의 응고과정중 제 3 단계인 'Grain boundary development stage'에서 냉각속도에 따른 고온균열 발생을 알아보기 위해 알루미늄합금을 예열한 후 TIG-A-MA-JIG Varestraint 실험을 통해 구한 TCL과 용접부에서 일어나는 응고속도의 일반 개념을 이용한 $TCL = A (T - T_0)^n$ 식을 이용하여 용접 예열온도에 따른 고온균열의 경향을 분석하였다. 이를 보면 알루미늄 합금 용접부의 고온균열은 용접 예열온도를 높일수록 증가하는 경향을 나타냈으며 thermal gradient가 작을수록 냉각속도가 빨라져서 결과적으로 고온균열이 발생할 확률이 감소하고 있음을 보여주었다.