

후판 Al 6061합금의 전자빔용접 특성 평가

The Characteristic Evaluation of Electron Beam Welding for Al 6061alloy with thick-thickness plate

정인철*, 심덕남*, 김용재*

* 두산중공업 기술연구원

ABSTRACT For the aluminum material of the thick-thickness more than 100mm penetration depth Electron beam welding is effectively applicable with a characteristic of high energy intensity. But Al 6061 alloy has high crack sensitivity due to minor alloys, which are silicon, magnesium, copper etc. With a sample block of 135mm thickness EBW test was performed in vertical position. As tensile strength has 210~220N/mm² with weld area broken. Bend test shows low ductility with fracture of partly specimens. Chemical contents of alloys show no difference between weld and base metal. Defect in middle weld area figures out typical hot crack due to low melting materials. Micro structure of weld area has some difference compare to HAZ and base metal. As a result of EBW test for Al 6061 alloy, it shows that weld defect could be occurred even though establishing of optimum weld parameter condition.

1. 서 론

알루미늄은 강에 비해 용점이 낮고(660℃) 높은 열팽창율과 열전도 특성이 있다. 또한 모재와 표면에 있는 산화피막과의 용점(2050℃) 차이와 용융부는 대기 중의 가스(수소 등)와 높은 친화력으로 인해 용접과정의 문제점을 갖고 있다. 보통 아크 용접에서는 AC전원을 사용하거나, 차폐가스 방법을 적용하고 있으나 후판 알루미늄의 경우에는 변형과 결함발생의 가능성이 높다.

이러한 문제점을 해소하기 위해 진공 분위기에서 고밀도 에너지를 이용하는 전자빔 용접에 의하여 용융 접합시키므로 후판 알루미늄 용접에 적용이 가능하다. 그러나 산업분야에 많이 사용되는 후판 Al 6061합금은 소량의 Mg, Si 등의 합금원소로 인해 전자빔 용접시 균열성의 결함에 민감하다.

본 논문은 전자빔 용접에 의한 후판 알루미늄 용접 용융부 위치에 따른 기계적 성질, 미세조직 및 용접결함에 대해 조사 분석한 것이다.

2. 본 론

전자빔용접은 알루미늄 용접에 효과적으로 적용되며, 특히 후판의 경우 한 패스로써 100mm 이

상의 두께를 용접할 수 있다. 그러나 소량의 Cu, Mg, Si 등 합금원소에 의해 용접시 기공, 균열과 같은 결함이 발생되며 이러한 결함은 각 원소의 함유량에 따라 민감도의 차이가 있다.

Mg의 경우 1~2% 일 때 가장 큰 균열 민감성을 나타내며 이보다 큰 경우에는 오히려 줄어든다. Al 6061합금은 Mg성분이 가장 민감한 영역에 포함되어 있으므로 최적의 전자빔 용접변수 조건을 설정하더라도 간헐적인 결함이 예상된다.

시험은 수직자세로 시편에 대한 전자빔 용접 후 인장 및 굽힘시험, 경도측정, 성분분석, 조직시험을 실시하였고 용접부의 특성과 결함의 형태를 조사하였다.

2.1 시험 조건

적용한 장치는 60kW-60kV 대형 전자빔 용접장치로서 전자총이 이동하면서 용접을 할 수 있는 구조이다. 본 시험에서는 Z축을 상향으로 이동하면서 빔을 조사하였고 최적의 빔 변수는 시험을 통하여 설정하였다.

2.1.1 용접 시편

두께 135mm의 Al 6061합금 소재를 수직자세로 전자빔을 조사하였다. I형 맞대기 이음부 형태로 용입 깊이는 완전용입으로 하였다.

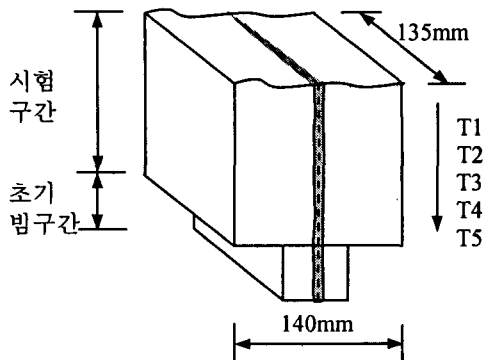


Fig1. Test sample block

2.1.2 용접변수 조건

용접조건은 빔전류 640mA, 속도 230mm/mim, 대물거리는 약 200mm로 하였다.

5x10⁻⁴torr의 진공챔버 진공도 하에서 빔 위빙 주파수 100Hz, 위빙은 '반구' 형태로 적용하였으며, 두께중간의 상부 위치에 초점전류를 선정하였다.

2.2 시험 결과

2.2.1 강도 및 굽힘시험

두께위치 별로 상부에서 5개 구간으로 나누어 상온에서 시험하였으며 파단위치는 모두 용착금속(Weld metal) 부위이다. 하단부 T5를 제외하고는 210~220N/mm²로서 고른 값을 나타내었으며, 하단부는 결함이 내재되었을 것으로 예측된다.

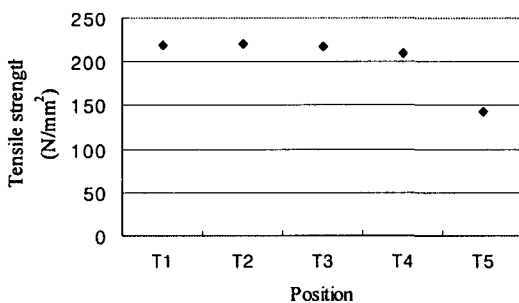


Fig2. Tensile strength

굽힘시험 결과, 상부 위치에서 첫째 및 셋째 시험편은 No open crack이었으나 둘째 및 넷째 시험편은 HAZ를 중심으로 완전히 파단되었다.

2.2.2 경도 분포

두께 위치별로 용접부(Weld), 열영향부(HAZ), 모재(Base)에 이르는 구간을 Micro Vickers (Hv

1.0kg)로 1mm간격으로 측정하였다.

측정두께 위치에 관계없이 60~105Hv의 경도 분포를 갖고 있으며, 크기는 열영향부<용접부<모재의 순으로 나타난다.

따라서 Al 6061 용접은 좁은 용접구역 내에 일정한 경도저하를 갖는다. 열영향부는 Solution annealing 온도범위 이내 구간에서 'Warm ageing' 효과로 약간의 경도가 상승하나 Overageing이 일어나는 온도구간에서는 상당한 경도저하가 있음을 알 수 있다.

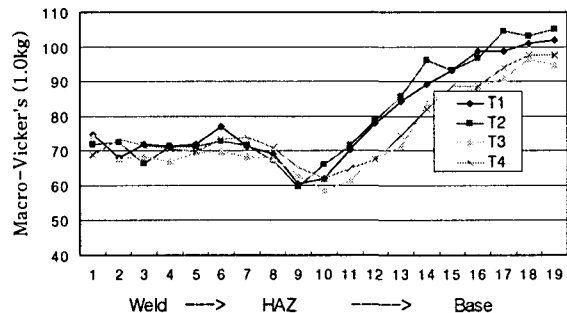


Fig3. Hardness distribution in the cross weld joint

2.2.3 화학성분 분석

열처리 합금인 Al 6061은 Si 0.4~0.8%, Cu 0.15~0.40%, Mg 0.8~1.2% 성분을 갖고 있다.

이러한 합금은 전자빔 용접시 균열 민감도와 관련되며, 일반적으로 가장 높은 Crack sensitivity를 나타내는 구간은 Si 0.5~0.8%, Cu 3%, Mg 0.2~1.2%이다. 따라서 Al 6061은 매우 높은 균열 민감성을 갖고 있음을 알 수 있다.

모재 및 용접부에 대한 주요 합금의 화학성분 분석결과 차이가 없음을 알 수 있다.

Table 1. Chemical composition of materials used in this study

구분	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Al
모재	0.61 ~0.66	0.31 ~0.32	0.99 ~1.01	0.54 ~0.56	0.07 ~0.08	Bal.
용접부	0.62 ~0.69	0.32	0.94 ~1.01	0.55 ~0.57	0.07 ~0.08	Bal.

2.2.4 단면조직 및 결함부 분석

전자빔 용접부 단면은 쇄기모양의 좁은 용융부를 나타내고 있으며 용접부 상단 부위에 결함이 내재되어 있다. 이러한 결함은 입계에 재료의 용해수소 또는 표면에 부착한 산화막이나 수분으

로 인한 기공성의 결함형태로 나타났다.

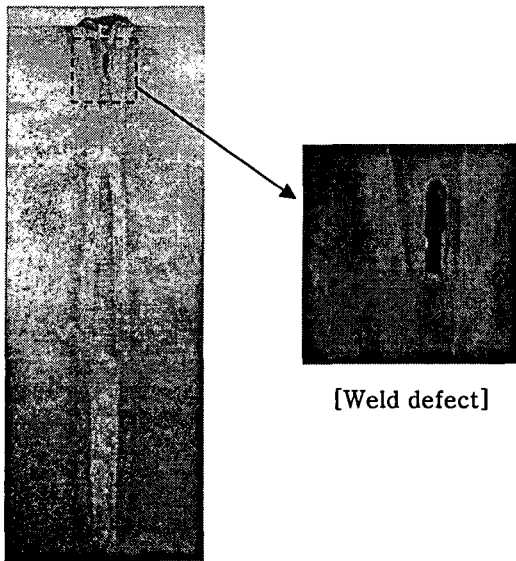
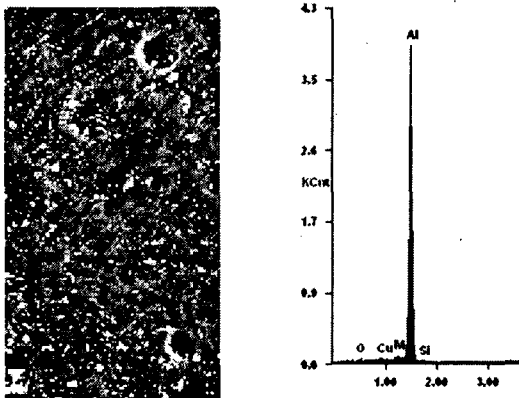


Fig4. Transverse Cross Section with weld defect

용접 결함부에 대한 EDX분석을 통해 화학성분을 조사하여 분석하였다. 측정위치에 따른 화학성분의 차이가 많았으며, 합금성분의 집적현상은 분명하지 않았다.



[Defect area]

Fig5. Chemical contents by EDX analysis of weld defect area

2.2.5 미세조직 분석

두께방향으로 각 위치에 대한 용접부, 열영향부, 및 모재 부위에 대한 미세조직을 관찰하였다. 먼저 두께 방향으로 각 부위별 미세조직의 차이는 거의 없었으며 Grain size도 거의 유사하였다. 따라서 전자빔의 관통위치에 따른 조직의 변화는 없음을 알 수 있다.

한편 열영향부와 모재에 대한 조직은 비슷하

였으나 용접부는 일정한 크기의 화합물이 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다.

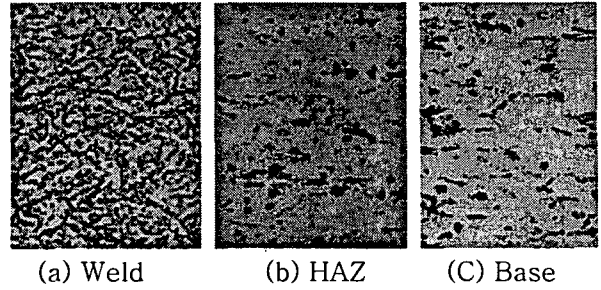


Fig6. Micro structure (x 200)

3. 결 론

두께 135mm의 Al 6061합금에 대한 전자빔 용접 특성을 시험한 결과 다음과 같다.

- 1) 인장값은 210~220N/mm²으로 측정되었으며 용접부에서 파단되었다. 굽힘시험 결과 4개중 2개는 완전 파단이 되었다.
- 2) 경도값은 열영향부<용접부<모재의 순으로 나타났다. 열영향부는 Warm ageing에 의한 약간의 경도가 상승이 있으나, Overageing구간은 가장 낮은 경도값을 갖는다.
- 3) 용접부와 모재간의 화학성분 차이는 없으나 이론적으로 Si, Mg 합금원소 성분이 가장 민감한 구간에 있음을 알 수 있다.
- 4) 단면부 조직에서는 전형적인 전자빔용접의 기공성 결함형태를 포함하고 있다. 용접부와 열영향부 및 모재부위의 미세조직은 상당한 차이가 있으며 이에 따른 물성치 차이를 예측된다.

결론적으로 후판 Al 6061합금에 대한 전자빔 용접은 최적의 용접변수 조건하에서도 결함발생 가능성이 높음을 알 수 있다.

참고문헌

1. Dipl.-Ing. H. Schultz : Electron beam welding, Abington publishing (1993), p.115-120
2. E.O.Paton Electric Welding Institute : Electron Beam Welding Equipment ELA-120/120, Technical Project, KYIV-2005
3. Schiller, S., et al. ; Elektronenstrahltechnologie. Stuttgart, Germany, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft