

7000계열을 중심으로 한 알루미늄 합금의 용접특성(II)

박성탁* · 정재필** · 서창제***

Weldabilities of 7000 Aluminium Alloys (II)

S. T. Park*, J. P. Jung** and C. J. Suhr

4. 용접결합과 대책

4. 1 용접균열

Al용접부에 발생하는 가장 중요한 결함의 하나로 용접균열이 있다. 용접균열은 용접성을 지배하는 중요한 인자이며 용접부의 응고현상이나 용접부의 조직과 밀접한 관계가 있다. 발생기구 측면에서 보면 용접부에 발생하는 균열은 고온 균열이며, 주로 결정입계에 있어서 합금원소의 편석 혹은 저융점 물질의 존재에 기인하는 것이다.

균열의 종류로는, 먼저 응고균열(solidification cracking)을 들 수 있는데, 이는 용접금속이 응고할때 상태도에서 응고온도범위의 저온측에서, 응고시의 수축력 또는 외력이 작용할때 발생하는 것이다. 또 다른 균열로는 열영향부가 고온으로 가열되었을때 입계가 국부적으로 용융하였다가 응고할때의 수축력에 의해 발생하는 액화균열(liquation cracking)이 있다. Al합금의 다층용접 혹은 보수용접을 할때 전층 용접금속중에 보이는 미소균열(microfissure)은 일종의 액화균열이다.

용접균열을 발생장소 혹은 형태에 따라 (a) 용접 bead에 발생하는 균열: 종균열, 횡균열, crater균열, 毛狀 혹은 孤狀균열, root균열, 미소균열(특히 다층용접시) (b) 용접 열영향부에 발생하는 균열: 지단

균열, lamellar tear, bond 근방의 미소균열등으로 분류된다.

4.1.1 균열의 발생과정과 그 기구

1) 응고균열

응고시에 발생하는 응고균열(고온균열)의 발생기구에 관해서는 지금까지 많은 설이 제안되었다^{1~5)}. 응고균열의 발생기구에 관해 최초로 제안된 것은 shrinkage-brittleness theory^{6~7)}로 합금의 응고과정에 있어서 고상선에 가까운 고온부에 취성온도범위가 존재한다는 것을 기초로 하고 있다.

응고균열기구에 관한 또 다른 이론인 strain theory⁸⁾는 합금이 응고할때 응고의 최종 단계에서는 내하충능력이 약하고 또 변형능력도 작기때문에 균열이 발생하고 이 단계에 있어서 변형집중이 생긴다는 것이다.

Borland⁹⁾는 이 shrinkage-brittleness theory와 strain theory를 기초로 해서 generalized theory를 제안하였다. Fig.1¹⁰⁾은 2원계합금의 고온균열감수성과 응고과정의 관계를 나타낸 것으로 응고과정을 다음의 4단계로 분류하였다.

단계 1: dendrite가 자유로이 분산(균열은 생기지 않는다)

단계 2: 결정립이 연결(균열이 생기더라도 액상에 의해 메워진다(healing))

* 학생회원, 성균관대학원 금속공학과

** 정회원, 한국기계연구원 용접연구부

*** 정회원, 성균관대학교 금속공학과

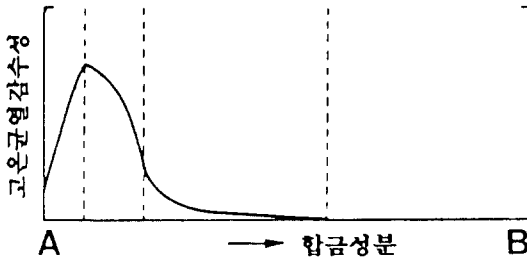
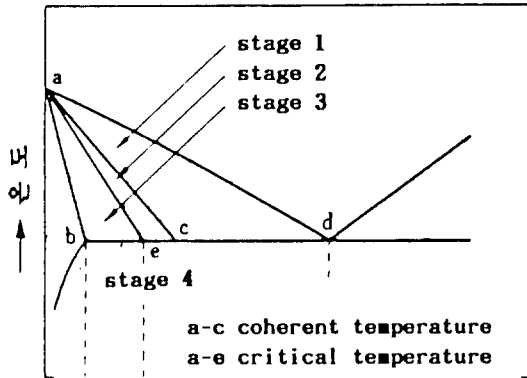


Fig. 1 2원계 합금의 고온균열에 미치는 조성적 특징의 영향

단계 3: 입계응고범위(healing이 일어나지 않는다)

단계 4: 응고(균열은 발생하지 않는다)

균열은 단계 3의 입계응고범위에서 일정치 이상의 변형이 가해진 경우에 발생한다. 또한 Borland는 응고시의 용액분포도 고려할 필요가 있다고 하여 고상과 잔존액상의 상대적인 관계에 대해서도 생각하였다. Fig.2¹⁰⁾에 보인 고상과 잔존 액상에 대해서는, 아래식과 같은 평형상태가 존재한다.

$$\frac{\gamma_{SL}}{\gamma_{SS}} = \frac{1}{2\cos(\theta/2)} = \tau$$

단, γ_{SL} : (고-액)상 간의 계면에너지

γ_{SS} : (고-고)상 간의 계면에너지

θ : (고-액)상 간의 접촉각

여기에서 θ 가 작으면 고체끼리의 급속한 결합에 지장을 주므로 작은 외력에 용이하게 파단된다. 반면 θ 가 크면 고체끼리의 결합면적도 커지고, 외력에 대해서도 용이하게 파단되지 않는다. 즉 θ 가 크면 고온균열은 생기지 않는다. 단 용접금속은 평형응고한

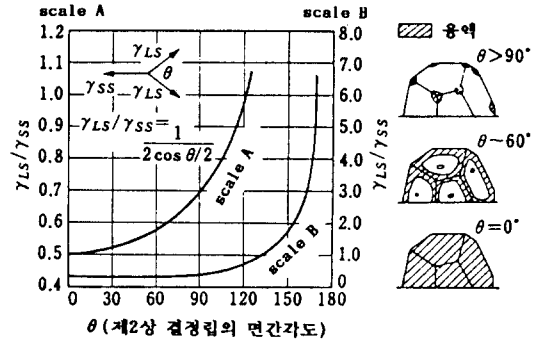


Fig. 2 제2상 결정립 면간각도와 용액분포상태와의 관계

것 보다도 θ 는 작게 되는 경향이 있다.

2) 액화균열

Al합금의 다층용접부 혹은 bond부에 인접한 열영향부에는 빈번하게 미소균열(microfissure)이 발생한다¹¹⁻¹³⁾. 이 균열은 가열된 입계특유의 것이며, 그 생성 과정은 Fig.3^{4,5)}에 모식적으로 나타냈다. 즉 가열에 의해 국부적으로 용해한 입계(단계 2)가 재응고할때(단계 3) 열수축이나 외부구속력에 의해 변형하고 단계 4에 이르는 과정에서 수축공으로서 잔류한 것이다¹³⁾.

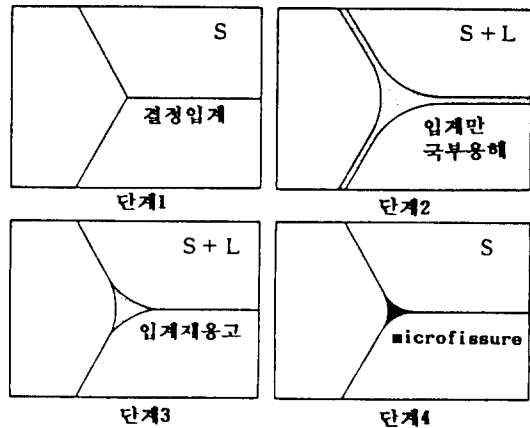


Fig. 3 Al합금 용접부에 있어서 액화균열의 형성과정

4.1.2 용접균열에 미치는 합금원소의 영향

Al합금의 용접에서는 응고온도역이 낮을수록 균열이 발생되기 용이하고 용접금속의 냉각속도가 빠를

수록 저합금 성분측에서 균열이 발생하기 쉬운것으로 알려져있다¹⁴⁾. 그러나 Al합금의 용접균열은 응고온도 역과 용접조건에의 영향도 중요 하지만 먼저 합금성분의 영향이 크다고 생각되고 있다¹⁵⁻¹⁸⁾.

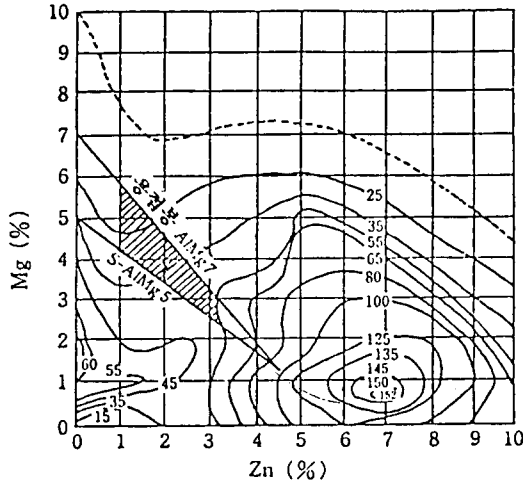


Fig. 4 Al-Zn-Mg계 합금의 ring型 주조시험결과(숫자 : 균열길이 in)와 용접봉선택에 의한 용접시의 균열 방지방법

Fig4에 Zn과 Mg의 함유량과 균열감수성을 등고선으로 나타냈는데,¹⁹⁾ 적절한 화학조성의 용접봉을 선정함으로써 용접금속의 화학성분을 균열이 발생하지 않는 영역으로 제어하고 있다²⁰⁾.

일 예로, 7000계 합금에 있어서 균열이 발생하는 조성범위가 A7075(5-6% Zn, 2-3% Mg), A7N01(4-5% Zn, 1-2% Mg)인데, 이를 방지하기 위해 균열이 발생하지 않는 화학조성을 만들 필요가 있으므로, 용접봉으로서는 A5356, A5183등을 사용 한다.

7000계합금의 용접균열은 결정립 미세화원소, 예를 들면 Ti, Zr, Ti+B의 미량 첨가에 의해 방지할 수 있다^{17, 21, 22)}. 따라서 이것을 첨가한 용접봉을 사용하면 좋은데, 이 효과의 예를 Fig.5에 나타내었다. Ti, B는 용접봉 대신 모재에 첨가해도 좋은 효과를 얻을 수 있다.

Zr은 모재의 결정립이 용접입열로 조대화하는 것을 방지하고, bond부에서 성장하는 용접금속의 주상정을 미세하게 유지하며, 결정입계를 강화하는 효과를 가지고 있어서 용접균열을 방지할 수 있다. 또한 내용력부식균열성이나 강도의 개선에도 유효하여 Al-Zn-Mg계 합금에 있어서 그 효과는 매우 현저하다²³⁾.

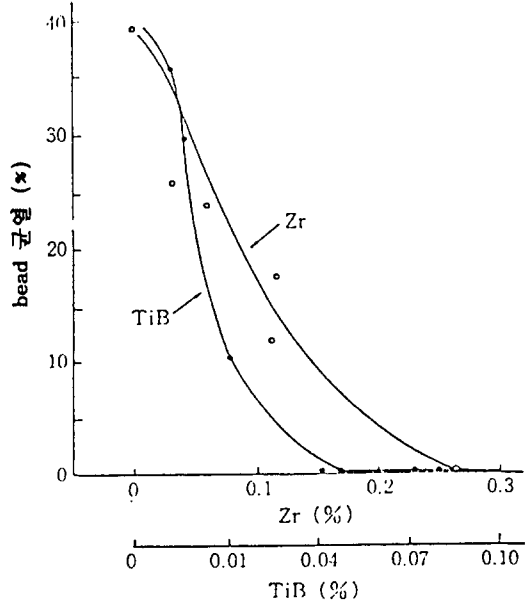


Fig. 5 Al-4. 5Zn-1. 25Mg합금의 용접균열에 미치는 Zr, Ti, B의 영향 (용접봉 : Al-4Mg-2Zn, Ti, B는 용접봉에 첨가)

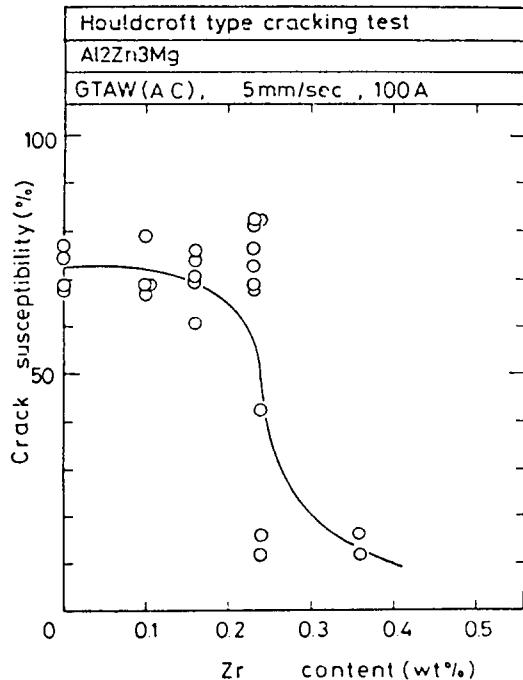


Fig. 6 용접bead균열감수성에 미치는 Zr의 영향

Fig.6에 용접 bead균열감수성에 미치는 Zr의 영향을 나타내었다.

한편 7000계 합금에 있어서 Cu가 약 0.3% 이상 함유되면 용접금속내에 저용점상을 형성하기 용이하여 균열의 원인이 되므로¹¹⁾ 주의하여야 한다. 더우기 Zn+Mg량과 Cu량이 많은 A7075(5.1% - 6.1% Zn, 2.1 - 2.9% Mg, 1.2 - 2.0% Cu)의 용접성은 매우 나쁘다¹⁷⁾.

4.1.3 기타 영향과 대책

용접시공조건과 응고균열과의 관계는 다음과 같다. 즉 groove gap 및 용접속도와와의 관계를 Fig.7²⁴⁾에 나타냈는데 gap이 크면 균열이 쉽게되고, 용접이음부의 접합정도 향상이 용접균열방지의 중요한 대책이 된다. 그러나 여러요인으로 gap을 줄이는 것이 불가능한 경우는 용접속도를 낮추는 등의 대책이 필요하다.

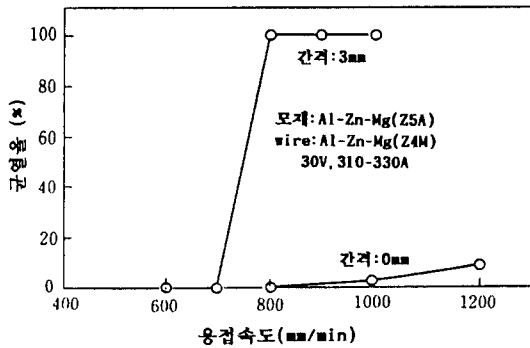


Fig. 7 평행간격 fillet용접 균열시험결과

crater균열에 있어서는 4.1.2에서 전술한 바와 같이

균열방지에 효과가 있는 Zr, Ti, B 등의 원소를 함유한 용접봉을 사용하는 것이 좋지만, 시공면에서는 crater filler를 이용하여 crater 응고 직전에 균열이 생기지 않도록 용액을 보충하는 것이 효과적이다. 이 crater filler 장치는 MIG전원, TIG전원 모두 표준장비로써 장착할 수 있다.

이상, 균열에 관한 방지대책을 정리하면 Table 9와 같다.

4.2 기 공

용접부에 발생하는 기공은 용접균열 다음으로 문제가 되는 결함으로 Al용접부는 다른금속 재료에 비해 기공이 생기기 쉬운것으로 알려져 있다.

이러한 기공이 형성되는 원인으로는, 1) 용접시 용접금속중으로 gas 용해 2) 냉각과정에 있어서 용융금속내에서 ① 화학 반응에 의한 gas의 발생 ② 용해도 감소에 따른 gas의 석출 3) 응고과정에 있어서 gas의 방출등이 있는데, 그 생성 기구는 복잡하며 이에 대한 해명과 기공방지를 위한 노력이 계속되고 있다²⁵⁻²⁹⁾.

Al합금의 용접부에 발생하는 기공의 직접적인 원인은 수소^{29,30)}인 것으로 보고 된 바 있는데, 이것은 기공중의 gas를 질량분석한 결과³¹⁾에서도 증명된다.

Al합금 용접부에 보이는 기공은 球狀을 한 소위 gas porosity와 입계의 개재물등에 gas가 석출한 空洞狀으로 된 shrinkage porosity가 있다. 이러한 기공은 직경 0.5-1.0mm정도의 비교적 작은 것이 많고, 또 solute band를 따라 나란하게 되어 있는 특징이 있다.

Table 9. 균열 방지 대책

균열의 발생위치	균열의 형태	균열 방지 대책	
		재료에서의 선택	용접시공, 용접설계등에서의 대책
용접 금속	bead 균열	용접봉의 적절한 선택	1. 과소, 과대입열로 용접하지 않는다 2. tab판을 사용하고, 또한 tab판을 본용접재에 밀착시켜 완전하게 용접한다.
	creater 균열	용접봉 성분의 변경 (결정립 미세화 원소 첨가)	1. 적절한 creater처리를 행한다. 2. 이음부의 처리방법 개선
	미소 균열		1. 과대입열로 용접하지 않는다. 2. 층간 온도를 낮게하고, backing을 사용해서 재료의 온도 상승을 억제
모재	미소균열	소재의 결정립 미세화	1. 과대 입열로 용접하지 않는다. 2. 열응력이 발생하기 쉬운 용접부 설계는 피한다.
	기타 (notch 균열등)	소재의 결정립 미세화 및 용접봉에 결정립 미세화 원소 첨가	과대 입열로 용접하지 않는다.

4.2.1 Al합금의 수소용해량과 기공의 수소원

Table 10. Al에 대한 수소의 용해도

온도(°C)	ml/100g	H/Al비
850	2	4.8×10^{-5}
660(liq)	0.7	1.6×10^{-5}
660(sol)	0.04	0.1×10^{-5}
상온	0.01	0.024×10^{-5}

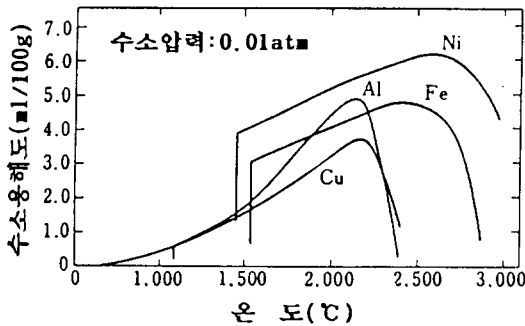


Fig. 8 주요한 금속의 수소용해도

Table 10은 Al중의 수소의 용해도를 나타낸 것으로, 수소 gas 용해도가 고, 액간에 큰 차이를 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 응고시에 gas의 용해도가 격감함으로써 gas가 석출되어 기공이 발생한다. Fig.8²²⁾은 주요한 금속의 고온에 있어서 수소용해도를 비교한 것으로, 용융상태에서 수소의 최대 고용량과 용접에서의 고용량과의 비는 Al이 가장 크다. 또한 Al은 다른 금속에 비하여 arc분위기 중의 수소농도가 낮더라도 bubbling을 일으키기 쉽고 냉각조건에 따라서는 응고 후 기공이 잔류하기 용이하다고 보고되고 있다³³⁾.

기공의 수소원으로서 1) 모재, 용접봉 중의 용해수소 2) 모재, 용접봉 표면에 부착 또는 흡착된 수분, 유기물 부식 생성물 등 3) shield gas 중의 수소 및 수분 4) shield가 불완전한 경우, arc 분위기 중에 침투된 공기 중의 수분등이다. Table 11에 각 공급

Table 11. MIG용접 shield gas 중의 수소농도에 미치는 수소원별 기여율의 계산결과

수소 공급원	수소 gas(%)	기여율(%)
모재에서의 수소	0.002	3
wire에서의 수소	0.014	20
torch gas에서의 수소	0.004	6
공기에서의 유입	0.049	71
計	0.069	100

원으로부터 기공으로의 기여율 관계를 나타냈는데, 재료 측에서는 wire, 환경측에서는 주위 공기의 유입이 크다는 것을 알 수 있다.

4.2.2 기공발생에 미치는 용접조건 영향

기공의 생성에 미치는 용접조건 영향^{25~27,34)}에 대해서는 많은 연구결과가 보고되고 있다. 그러나 기공의 발생에 관여하는 인자가 다양하기 때문에, 현상에서는 들발적으로 기공이 발생하는 경우가 많으며, 기공 방지에 대한 근본적인 해결에는 아직 이르지 못한 상태이다.

기공의 생성에 간접, 직접적으로 영향을 미치는 인자로는 1) 용접방법 2) 용접전류, arc전압, 용접속도 3) shield gas의 종류, 순도, 유량 4) 용접봉 및 모재의 표면처리상태 5) groove형상, 용접부 형상 6) nozzle형상, torch각도 7) 기타인자 등이 있다. 기공생성에

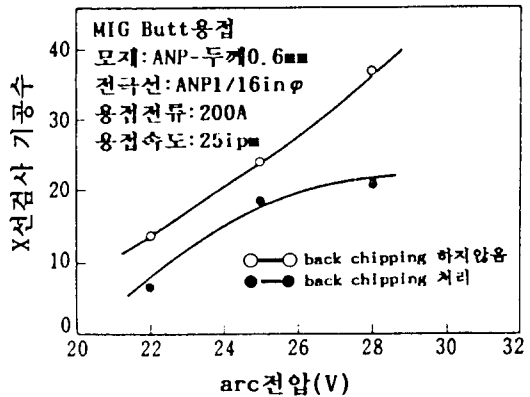


Fig. 9 Butt용접에 있어서 전압과 X선시험 기공수의 관계

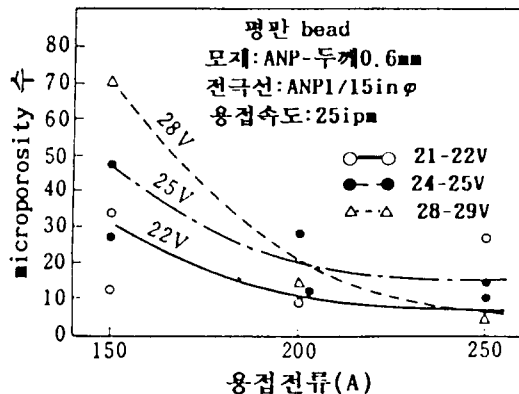


Fig. 10 전류, 전압과 microporosity의 관계

대한 일반적인 현상은, 용융지의 냉각속도가 커질수록 기공은 많아지고, 냉각속도가 작아질수록 기공이 적어진다. 또 보호 분위기가 나빠지면 기공은 증대한다. 용접방법에 있어서는 TIG용접보다도 MIG용접이 기공발생이 많다³⁵⁾.

Fig.9³⁵⁾은 arc전압의 영향을 표시한 예로, arc전압이 증가할수록 기공수는 증가한다. 또 용접전류가 증가

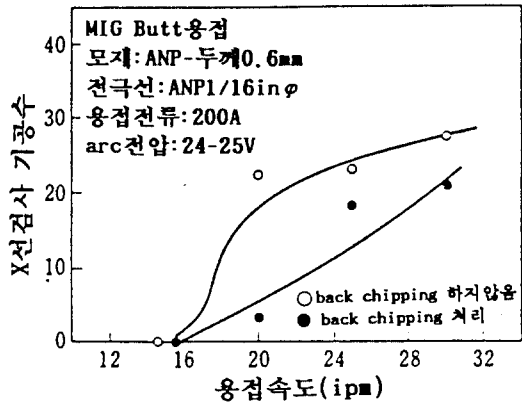


Fig. 11 Butt용접에 있어서 전압과 X선시험 기공수의 관계

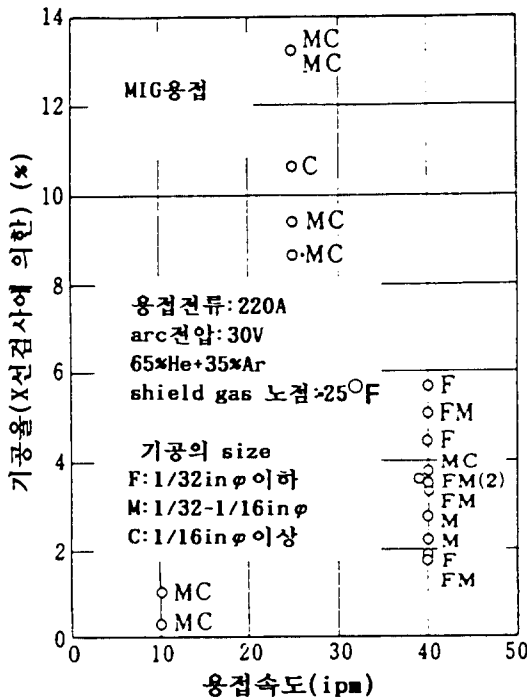


Fig. 12 기공생성에 미치는 용접속도의 영향

하면 기공은 Fig.10³⁵⁾과 같이 감소한다.

Fig.11³⁵⁾과 Fig.12³⁶⁾에 용접속도와 기공과의 관계를 나타냈는데, 용접속도가 증가하면 기공은 Fig.11과 같이 증가하지만, 용접속도가 더욱 증가하면 Fig.12와 같이 오히려 감소한다.

용접속도가 40ipm으로 증가됐을때 오히려 기공율이 감소한 이유는, 용접속도가 빨라지면 용고속도도 빨라지고, 용고속도가 빠르면 기공생성이 어려워지며, 형성되더라도 너무 작아 없어지거나 혹은 검출하기 어렵기 때문이다. 또한 용접속도가 아주 느리면, 용고속도도 아주 느리게 되며 이 경우에 용해 gas는 모두 방출되고 기공은 거의 생성되지 않는다. 용접속도가 좀더 빨라지면 기공형성이 용이하고 용고시에 잔류하는 것이 증가한다³⁶⁾. 그러나 실제 용접 작업에서는 이러한 기공발생이 적은 양극단의 용접조건보다는 기공이 발생하기 쉬운 중일열 정도의 용접조건이 용접성, 작업성의 면에서 주로 이용되기 때문에 기공문제의 어려움이 있다.

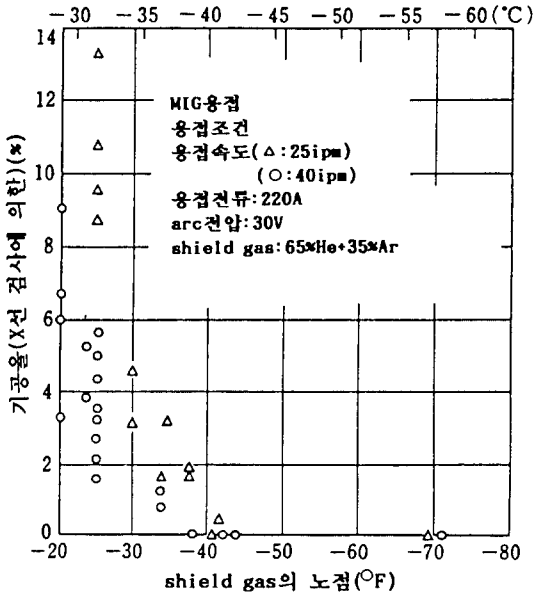


Fig. 13 기공생성에 미치는 shield gas 노점의 영향

기공율에 미치는 shield gas 노점의 영향은 Fig.13³⁶⁾에 보인 바와 같다. 즉 그 노점이 -40°F(-43.2°C) 이하로 되면 급격히 기공은 적어지며 -40°F(-43.2°C) 이상에서는 기공이 지수함수적으로 증가한다.

Shield gas종류의 영향은 He만을 이용한 경우가 순Ar 혹은 35%Ar+65%He의 혼합 gas를 사용한 경

우보다도 기공발생이 적게 된다.

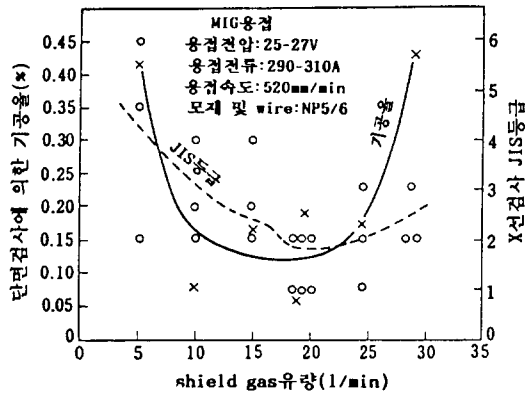


Fig. 14 Shield gas 유량과 기공율과의 관계

Shield gas의 유량과 기공율과의 관계는 Fig.14³⁷⁾에 나타난 바와 같이, 용접 조건 특히 용접속도에 의해 변화하는데, 특정 유량치에서 기공은 가장 적게 되며, 그 이상 shield gas를 흘려 주거나 지나치게 적게 흘려 주더라도 기공의 증가를 초래하게 된다.

기공율에 미치는 용접자세, groove형상, root간격 등의 영향은 下向자세가 가장 양호하고 立向, 橫向, 上向 순으로 불량하게 된다. Fig.15³⁸⁾, Fig.16³⁹⁾에 이러한

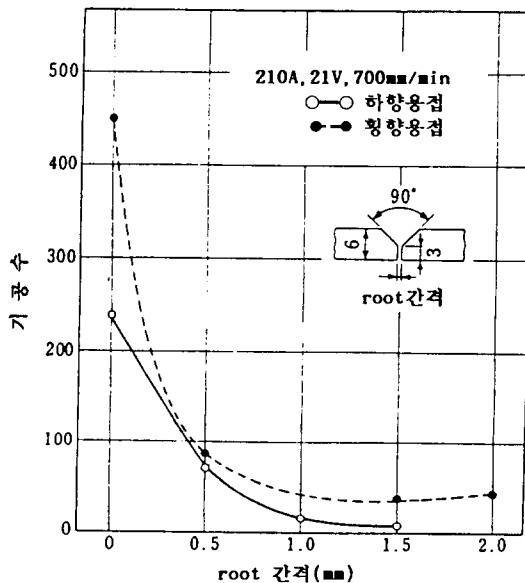


Fig. 15 Al합금 용접부의 기공생성에 미치는 용접자세 및 root간격의 영향

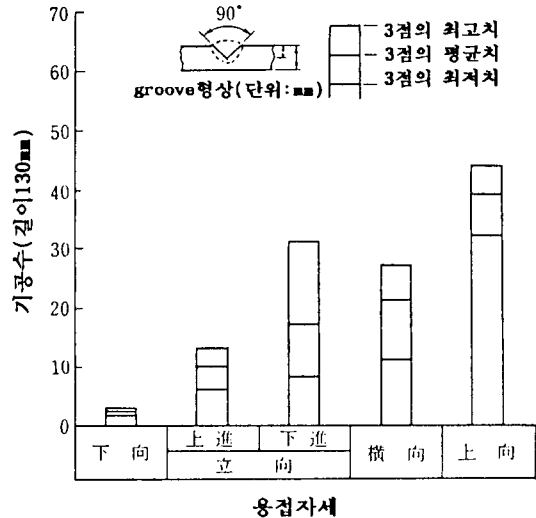


Fig. 16 Bead on plate 용접부의 기공수

영향들을 나타내었다. 또 root 간격이 넓을수록 기공 발생이 적다. 이것은 root간격이 매우 좁은 경우에는 root gap내에 존재하는 공기가 shield gas에 의해 방출되지 않고 용융금속중에 잔류하기 때문이다.

5356용접봉 중의 Boron(B)량과 기공의 관계는 Fig. 17⁴⁰⁾에 나타난 바와 같이 0.004wt% 이상 첨가하면 기공이 급격히 증가한다. 이것은 B이 용융금속의 점성을 증가시키기 때문에 수소가 용융금속으로부터 방출되기 어렵기 때문이다. B의 첨가는 균열방지에 효과는 있지만 기공측면에서는 첨가를 억제할 필요가

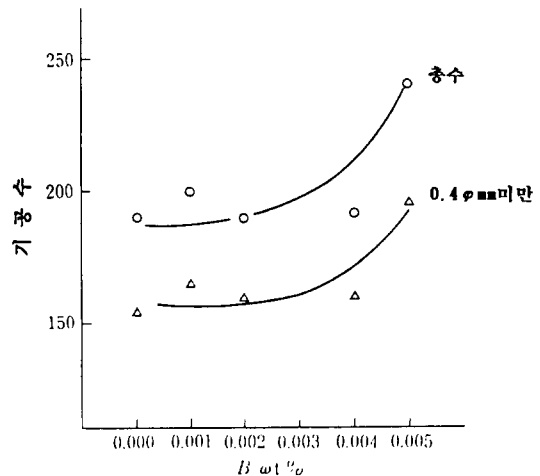


Fig. 17 용접wire(5356)중의 B량과 기공의 관계(기공이 발생하기 쉬운 조건)

Table 12. 기공의 방지 대책

원 인	방 지 대 책
설 계	1. 기공이 생기기 쉬운 곳을 설계 단계에서 제거 1) 가로방향, 上向자세 용접부의 감소 2) 어려운 자세 또는 복잡한 형상의 용접부를 없앤다. 2. 용접線을 감소한다. 1) 폭이 넓은 판재의 사용 2) 形材의 사용
시 공 및 시공관리	1. 적절한 용접조건을 선정 1) 판두께, 용접자세, 용접법과 함께 적절한 전류, 전압, 용접속도의 선정 2) shield gas유량의 선정 2. 적절한 전처리법을 채용 1) 판표면의 먼지제거, groove의 아세톤 탈지 2) 산화피막의 제거 3. 모재, 용접봉의 관리 1) 모재, groove의 보호 2) 용접봉의 건조 또는 청정한 장소에서의 보관 4. 용접기기의 점검 1) torch의 漏水유무 확인 2) torch선단에서 shield gas의 dew point의 계측 3) 작업개시시의 test arc방출에 의한 arc상태의 확인 5. 적절한 start처리를 한다. 1) gas pre-flow의 실시 2) tab 사용 3) bead이음부 처리(전층의 start부의 제거) 6. 환경관리를 행한다. 1) 高濕度下에서의 防濕처리 2) 먼지의 제거
검 사	1. 실제의 시공전에 시험편의 검사를 실시하고 시공법의 적정여부 확인 2. 구조물建造의 초기단계에서 검사를 도입 3. 검사결과를 신속히 feed back한다

있어 양 측면을 모두 검토할 필요가 있다.

종합적인 견지에서 기공방지대책을 Table 12에 나타내었다.

4.2.3 기계적 성질에 미치는 기공의 영향^{41,42)}

1) 정적 인장강도에 미치는 영향

용접부의 인장특성에 미치는 기공의 영향을 살펴 보면 인장강도, 항복강도, 연신율등은 기공이 어느정도 증가하면 급속히 저하하기 시작한다. 영향을 가장 많이 받는 인장특성은 연신율이며, 항복강도, 인장강도는 기공체적을 1% 정도에서는 거의 영향을 받지 않는다.^{43,44)}

Fig.18⁴⁵⁾은 기공량이 다른 7039(모재)/5039(용접봉) 용접부의 응력-변형 곡선의 예이다. 그림에서 기공에 의한 단면감소를 8%의 경우, 파단전에 시험편 단면의

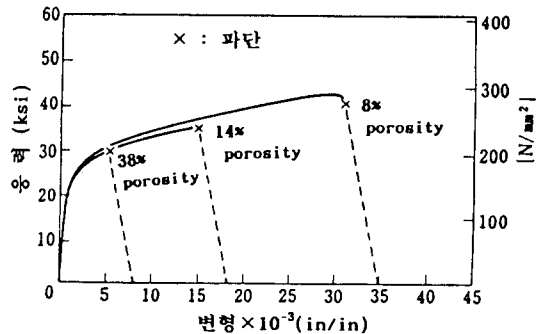


Fig. 18 S-S곡선의 예(A7039-T6151/A5039)

국부수축이 일어나고 있는데 비해 단면감소를 14%, 38%에서는 국부수축은 일어나지 않고, 연신율도 현저히 감소하고 있다. 연신율에 대한 기공의 영향이 현저히 나타낸 예이다.

2) 피로강도에 대한 영향

피로강도는 정적 인장강도에 비해 기공의 영향을 받기 쉽다. 그러나 균열 혹은 용합불량등의 線狀결합과 비교하면 그 영향은 작은 것이 보통이다. 기공이 피로강도에 미치는 영향은 기공량, 크기, 위치등에 따라 다른데, 일반적으로 시공조건에서 발생하는 기공량이라면 거의 영향을 받지 않는다는 것이 많은 실험결과에서 확인되고 있다.

용접부의 덧살(reinforcement)을 제거하고 피로시험한 후, 파단면상의 기공에 의한 단면감소율로부터 기공의 영향을 구한 예^{46,47)}를 들면 다음과 같다. 즉, Fig.19⁴⁶⁾는 片振인장피로시험에서 기공량을 변화시킨 용접부의 파괴까지의 반복 횟수를 구한 결과이다. 7039/5039 용접부에서 파단수명은 기공에 의한 단면감소율에 거의 비례하여 저하하는데, 단면감소율이 1-3%에서는 거의 결함이 없는 용접부와의 차이는 확인되지 않았다.

덧살(reinforcement)을 제거한 용접부의 피로시험에서는 기공이 표면 또는 표면 직하에 있는 경우, 이 기공으로부터 피로파괴가 발생하고, 피로강도저하의 한 원인이 된다.

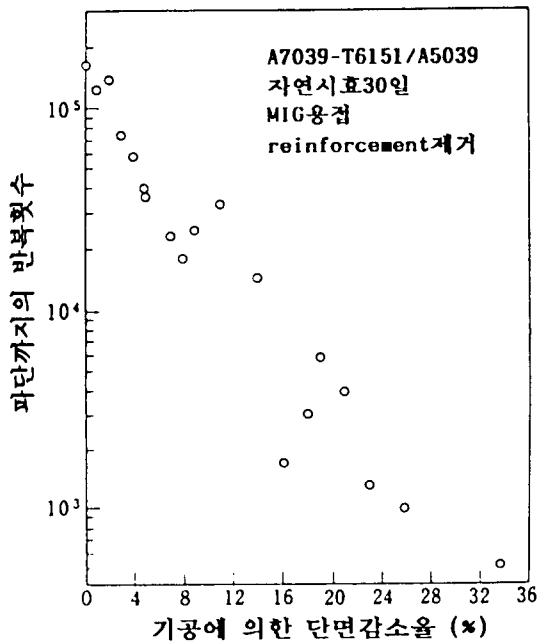


Fig. 19 파단수명에 미치는 기공의 영향

3) 충격치에 대한 영향

충격치에 미치는 기공의 영향에 대한 연구 결과는 많지 않지만, 보고된 범위내에서 기공의 영향은 극히 적다.

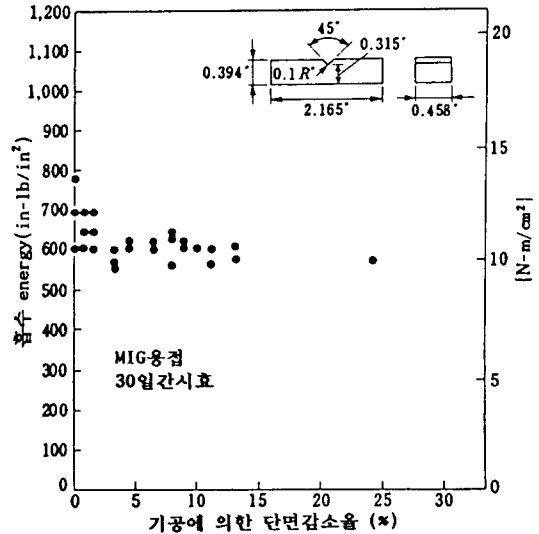


Fig. 20 충격치에 미치는 기공의 영향(A7039-T6151/A5039)

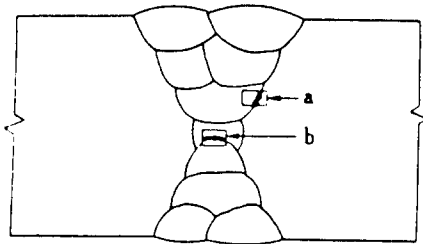
Fig.20⁴⁶⁾은 7039/5039 용접부의 Charpy 충격시험의 결과를 보인 것인데, 기공에 의해 단면적이 15%까지 감소해도 흡수 energy는 거의 변화하지 않는 것을 나타내고 있다.

4.3 용합 불량^{49~51)}

용합불량은 주로 후판 다층용접에서 발생하기 쉬운데 (Fig.21), 발생 위치는 대개 groove면, bead층간 및 back chipping후의 초층면이다. 용합불량의 발생 원인은 산화물의 존재나 용입부족등인 것으로 생각되고 있다.

용합불량 발생에 영향을 미치는 인자는 1) 용접조건 (주로 용접전류) 2) groove형상 3) torch위치 및 torch각도이다. 이러한 인자의 방지대책으로서는 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) 용접전류는 판두께에 비하여 용입이 충분히 얻어질 수 있는 전류를 선택해야 한다.
- 2) groove각도 혹은 groove 선단 반경이 작을수록



a: groove측면의 용합불량
b: back chipping 低部の 용합불량
Fig. 21 MIG 다층용접에서 용합불량의 대표예

용합불량이 발생하기 쉬우므로 가능한 한 groove 각도 및 back chipping시의 선단반경은 크게 한다.

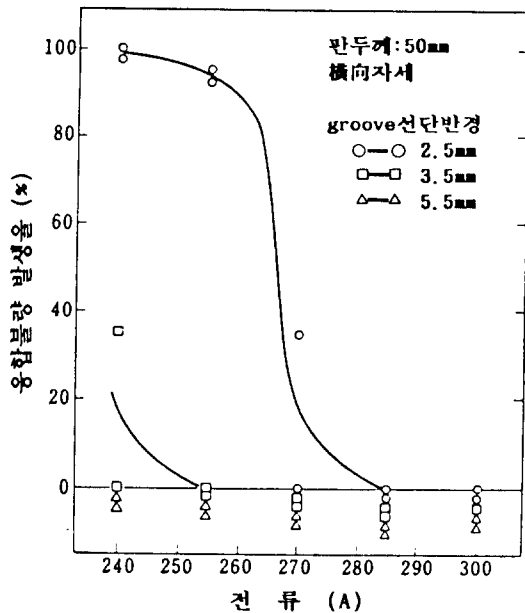


Fig. 22 용합불량의 발생에 미치는 groove선단반경과 전류의 영향(판두께: 50mm)

Fig.22⁴⁹⁾은 용합불량의 발생에 미치는 groove선단과 용접전류의 영향을 두께 50mm의 경우에 있어서 표시한 것이다. 그림에서 용접전류의 증가에 따라 용합불량은 감소하고 또 반경이 클수록 용합불량의 발생은 감소하는 것을 알 수 있다. 그림은 횡향자세의 예인데, 입향자세⁴⁹⁾의 경우도 같은 결과가 얻어진다.

용합불량의 발생률에 미치는 arc전압의 영향은 용접전류, groove 선단형상의 변화만큼 현저하지 않다.

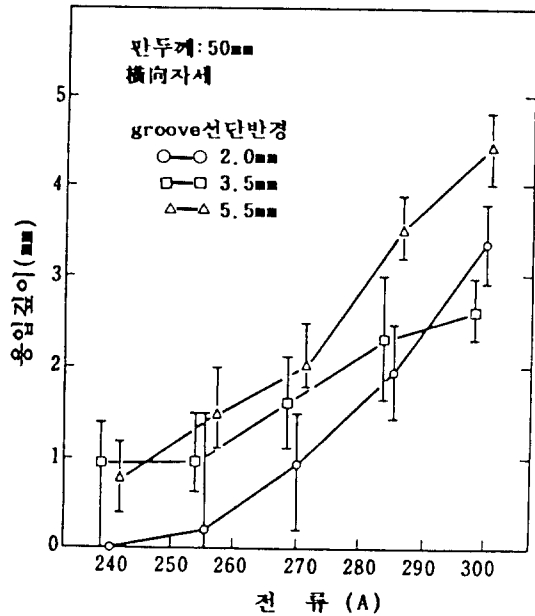


Fig. 23 용입깊이에 미치는 groove선단반경과 전류의 영향 (판두께: 50mm)

Fig.23⁴⁹⁾은 용접부의 용입깊이에 미치는 용접전류의 영향을 표시한 것이고, 용접전류의 증가 혹은 groove선단반경의 증가에 따라 용입깊이는 깊어지게 된다.

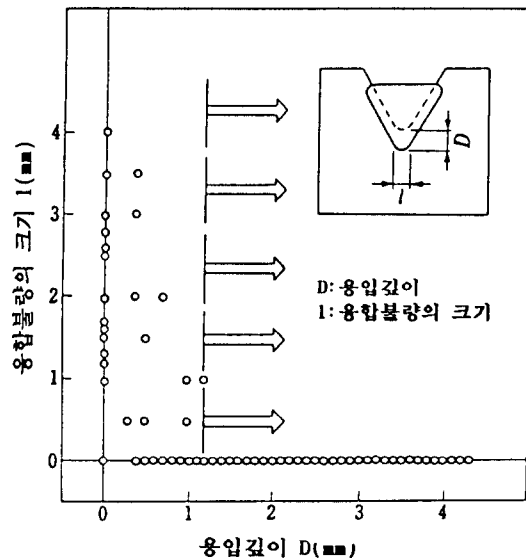


Fig. 24 용접부의 용입깊이와 용합불량의 관계

Fig.24⁴⁹⁾는 단면검사에 의한 용합불량의 크기와 용입깊이의 관계를 나타낸 것이다. 용입이 0일 경우, 용합불량의 발생이 확인되었고, 용입이 있더라도 용합불량이 생기는 것도 있는데, 용입이 1mm이상이라면 용합불량은 생기지 않는다. 따라서 용합불량이 발생하지 않으려면 약 1mm이상의 용입이 확보될 수 있는 용접조건 혹은 groove선단 형상을 정하는 것이 좋다.

3) groove형상 또는 전층의 bead형상이 정상이라도 torch위치 및 각도가 적절하지 않으면 용합불량이 발생한다. 다층용접에 있어서 groove면이 용합불량을 일으키는 경우가 많으므로, torch각도는 groove면에 대해 수직으로 하여 전층의 bead지단부를 향하도록 하면 좋다.

참 고 문 헌

1. 内田彰：輕金屬熔接, No. 13(1964. 1) 12-24, No. 14(1964. 2) 8-16
2. 大西昊：輕金屬熔接, No. 63(1968. 1) 1-18
3. 杉山楨彦：熔接技術, 20(1972) No. 9, 101-109
4. 福井利安：輕金屬, 24(1974) No. 4, 180-192
5. 福井利安, 寺井土朗, 水野政夫：水曜會誌, 18(1976), No. 6, 321-330
6. A. R. E. Singer and S. A. Cottrell : J. Inst. Metals, 73(1947) 33-54
7. W. I. Pumphrey and P. H. Jennings : J. Inst. Metals, 75(1948) 203-233
8. W. S. Pellini : Foundry, 80(1952) No. 11, 125-133
9. 福井利安, 難波圭三, 杉山楨彦：溶誌, 42(1973) No. 12, 71-78
10. J. C. Borland : B. W. J., 7(1960) No. 8, 508
11. J. C. Young : W. J., 47(1968) 451s
12. 水野政夫, 岡村和雄：熔接學會昭和43年度秋季全國大會預○集, No. 3(1968) 1-2
13. 福井利安, 杉山楨彦：溶誌, 40(1971) No. 9, 868-874
14. J. G. Young : British W. J., 8, (1961), No. 12, 568-574
15. F. E. Gibbs : W. J., 45(1966) 445-453s
16. J. O. Dowd : W. J., 31(1952) 448-456s
17. J. H. Dudas and F. R. Collins : W. J., 45(1966) 241-249s
18. J. A. Liptak and F. R. Bagsinger : W. J., 47(1968) 173-180s
19. 前田新平, 吉田晋：輕金屬熔接, 11(1973), 396
20. 薄板加工法委員會割れ防止研究小委員會：アルミニウム合金の熔接割れ防止マニュアル, 輕金屬熔接構造協會(1983)
21. 杉山楨彦, 福井利安：溶誌, 35(1966) No. 11, 70
22. 田中孝一, 吉田晋：輕金屬, 19(1969), No. 11, 470-480
23. 福井利安：輕金屬, 18(1968) No. 6, 320-331
24. 厚板熔接委員會：“熔接構造用アルミニウム合金の熔接割れ試験方法に關する研究(3)”, 輕金屬熔接, No. 122(1973. 2), 70-84
25. 内田彰：輕金屬熔接, No. 4(1963. 4) 8-12
26. 水野政夫, 阪口章：輕金屬熔接, No. 49(1967. 1) 3-11
27. 寺本富彦：輕金屬熔接, No. 112(1972. 4) 35-38
28. 益本功, 條田剛：溶誌, 41(1972) No. 4, 354-367
29. 安藤良夫, 藤村理人：溶誌, 32(1963) No. 2, 13-22
30. 宇田雅廣, 大野悟：輕金屬熔接, No. 125(1973. 5) 31-38
31. 益本孔, 條田剛：溶誌, 40(1970) No. 10, 1075-1083
32. D. G. Howden, D. R. Milner : B. W. J., 10(1963) No. 6, 304-315
33. C. R. Tottle, J. C. Wright : “The Metallurgy of Welding, Brazing and Soldering”, George Allen and Unwin LTD(1965) 62
34. 阪口章, 中山繁, 神岐信行：輕金屬熔接, 12(1974) No. 5, 224-237
35. 鈴木春義, 村瀬勉：溶誌, 25(1956) No. 11, 612-618
36. Z. P. Saperstein, G. R. Prescott, E. W. Monroe : W. J., 43(1964) 443-453s
37. 三菱重工(横浜)：耐食アルミニウム合金のミグ熔接における氣孔發生防止に關する研究, 第25回輕金屬研究會資料(1963)
38. 塔本徹, 阪口章, 堀本耕造：溶誌, 44(1975) No. 1, 22-35
39. 杉山：“アルミニウム合金熔接部の氣孔に及ぼす熔接姿勢の影響” 輕金屬熔接 Vol. 18, No. 6(1980) 1-7
40. 神戸製鋼 未公表 Data
41. 永岡宋之：輕金屬熔接, No. 112(1972. 4) 39-45
42. 奮田和之, 入尺敏夫：輕金屬熔接, 14(1976) No. 4,

- 16-27
43. D. M. Daley : W. J., 42(1963), 433-441s
 44. R. F. Ashton, R. P. Wesley, C. R. Dixon : W. J., 54(1975) 95-98s
 45. R. J. Shore, R. B. McCauley : W. J., 49(1970) 311s
 46. J. F. Rudy and E. J. Rupert : W. J., 49(1970) 322s
 47. 竹内勝治, 杉山楨彦 : 輕金屬, 18(1968) No. 2, 71-80
 48. 輕金屬熔接技術會 : アルミニウムとその合金のイナートガスアーク 熔接, 2. 2. 4(p31), 5. 6(p93-94)
 49. W. O. Dinsdale, J. G. Young : B. W. J., 9(1962) No. 8, 482-493
 50. 齋田和之, 入尺敏夫 : 輕金屬熔接, 14(1976) No. 4, 16-27
 51. 日本造船研究協會 : LNG運搬船の安全基準に関する調査研究報告書(その1-2) アルミニウム合金材に関する研究(1975. 3)