研 究 論 文

大 韓 熔 接 學 會 誌
第 10 卷 第 1 號 1992年 3月
Journal of the Korean Welding Society
Vol. 10. No. 1, Mar., 1992

알루미늄 熔接構造物의 變形橋正을 위한 Autogeneous GTAW의 適用 可能性 硏究

하용훈* · 강춘식** · 유순영***

A Feasibility Study on the Use of Autogeneous GTAW for Correction of Distortions in Welded Aluminum Alloy Structures

Y. H. Hah* , C. S. Kang** , S. Y. You***

Key Words : Correction of Distortions(변형교정), Aluminm Alloy Plates(알루미늄 합금판재), Autogeneous GTAW Method(자용 GTAW 방법), Fatigue Strength(피로 강도), Surface Cracks(표면균열), Porosities(기공), Thermal Stresses(열응력), Finite Element Analysis(유한요소 해석)

Abstract

Characteristics of two correcting methods, a new Autogeneous GTAW heating (TIG) method and the conventional GMAW bead-on plate welding(MIG) method, for distorted aluminum fabrication structures were studied. As a result of microscopic study of Autogeneous GTAW heating and GMAW bead-on plate welding areas, porosities in weld metal and surface cracks in local heating zone were found.

Through the mechanical tests, it was verified that porosities decrease tensile strength and surface cracks decrease fatigue life of aluminum alloy 5083-H321 plates. Also, to evaluate each correcting effect of distortion, angular displacement and transeverse shrinkage were measured and compared.

In order to investigate changes of material properties in heating area and cause of defects such as surface cracks, temperature distributions were calculated using ADINAT package programme and thermal stresses were calculated by ADINA. Through the computations of transient thermal stresses and microscopic observation of fracture surface, thermal stress was found to be the cause of crack during Autogeneous GTAW heating

* 정회원, 현대정공 기술연구소
** 정회원, 서울대학교 공과대학 금속공학과
*** 정회원, 대우조선 기술연구소

1. 서 론

알루미늄 용접 구조물의 변형된 부위를 교정하기 위해서 현재 많이 쓰이는 방법은 변형 부위에 GMAW용접을 행하고 비드를 갈아내는 MIG 용접법이다. 이 방법은 현재 국내 조선소에서 많이 사용하고 있는데 많은 작업상의 문제점이 있기 때문에 새로운 변형 교정법의 필요성이 대두되고 있다. MIG 용접법의 문제점은 비드제거를 위해 치핑작업을 할 때의 극심한 소음, 공수 낭비와 표면상태의 불량등을 들 수 있다. 특히 소음 문제는 알루미늄 용접작업자 및 관리자들에게 청각장애를 유발시킬 뿐 아니라 주변의 다른 작업자에게도 작업능률의 저하를 가져오고 있는 실정이다.

현재 사용되고 있는 MIG 용접법의 문제의 주 원인이 비드형성이라는 점과 알루미늄 변형교정을 위해서는 높은 밀도의 열원이 필요하다는 점에 착안하여 Autogeneous GTAW를 변형 부위 위에 행하고 가벼운 연마를 하여 변형교정 효과를 올리는 TIG법을 국내 일부 조선소에서 시도한 바 있다.

이 방법은 불활성가스 분위기하에서 텅스텐 아크를 일으켜 아크열로서 가열효과를 얻는 방법인데 단점으로 아크에 의해 국부적으로 모재가 패이는 표면결함이 생기지 않도록 아크길이, 전류 및 이송속도를 조절하기가 쉽지 않다는 점을 들 수 있다. 이와 같은 표면결함은 텅스텐아크의 극성에 따라 달라지는데 직류 정극성은 표면이 깊게 패이는 결점이 있고, 직류 역극성은 표면상태는 양호하나 텅스텐 전극이 과열되고 각변형효과가 적어 효율성이 적다. 교류를 사용하였을 경우에 표면의 외관결함도 적고 각변형량이 양호하기때문에 교류극성이 실제 작업 능률면에서 가장 적합한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 이와 같이 Autogeneous GTAW를 변형교정을 위하여 사용하였을 경우에 기존의 MIG 법과 비교하여 변형교정된 부위가 어떠한 기계적 및 조직적 특성을 보이는지 조사하였고 각 방법의 각 변형의 효과는 어떤 차이가 있는지 검토하였으며, 변형 교정부의 온도분포와 열응력변화를 정량적으로 계산하여 재질변화와 결함발생의 원인을 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1. 실험 재료

모재는 알루미늄 합금판재 5083-H321을 사용하였다. 판재의 두께는 인장시험용 시편의 경우 7.1 및 4.8mm, 피로 시편 및 변형 측정용 시편의 경우는 4.8 mm를 사용하였다. MIG판상용접 와이어는 5356와이어를 사용하였다.

2.2. 변형교정을 위한 MIG 판상용접 및 Autogeneous GTAW(TIG) 가열조건

MIG 판상용접 조건은 국내조선소의 현장에서 변형교정시 사용되는 용접조건을 채택하였고 TIG 방법은 MIG 방법의 입열과 동일하고 표면의 외관결함이 최소로 되는 조건을 찾아내어 사용하였다.(Table 1)

2.3. 기계적 시험

각 방법에 의한 변형 교정 부위의 경도를 조사하기

Table 1 Faring conditions for calculation and distortion measurement (for mechanical test)

Parameter	GMAW	GTA
voltage(V)	24 (22)	22 (22)
current(A)	160	180
travel speed(cm/min.)	120 (180)	135 (200)
effective radius (cm)	0.35	0.50
arc efficiency (%)	65	44
effectrode radius (mm)	4.0 (8.0)	4.0 (8.0)
heat input (KJ/min.)	1.92 (1.17)	1.76 (1.18)

위하여 변형 교정된 표면을 매끈하게 연마하여 비커스 경도시험을 하였다. 또한 변형 교정된 부위의 인장특성을 조사하기 위하여 각 방법에 의해 옆으로 1회, 2회 및 3회 가열한 부위를 포함한 시편을 Fig.1과 같이 제작하여 인장 시험을 실시하였다. TIG의 경우는 바로 위에 중첩하여 1회, 2회 및 3회 가열한 시편도 제작하여 인장 시험을 실시하였다. 피로시험은 각각 2회 가열한 시편을 제작하여 응력비가 0인 축 방향의 반복 응력을 가하여 S-N 곡선을 구하였고 이전에 발표된 5083-H123 판재에 대한 모재 및 용접부의 S-N곡선[1]과 비교하였다.

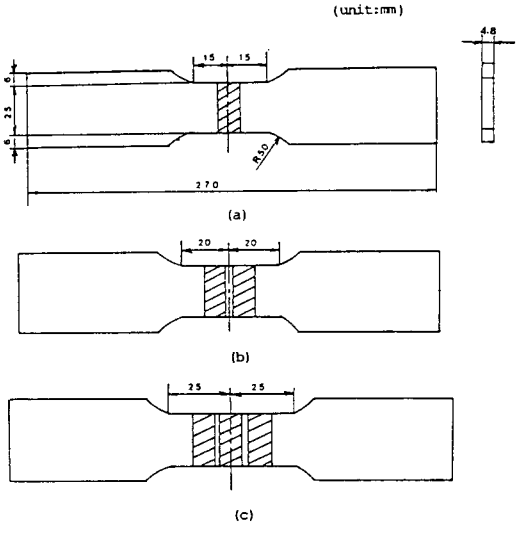


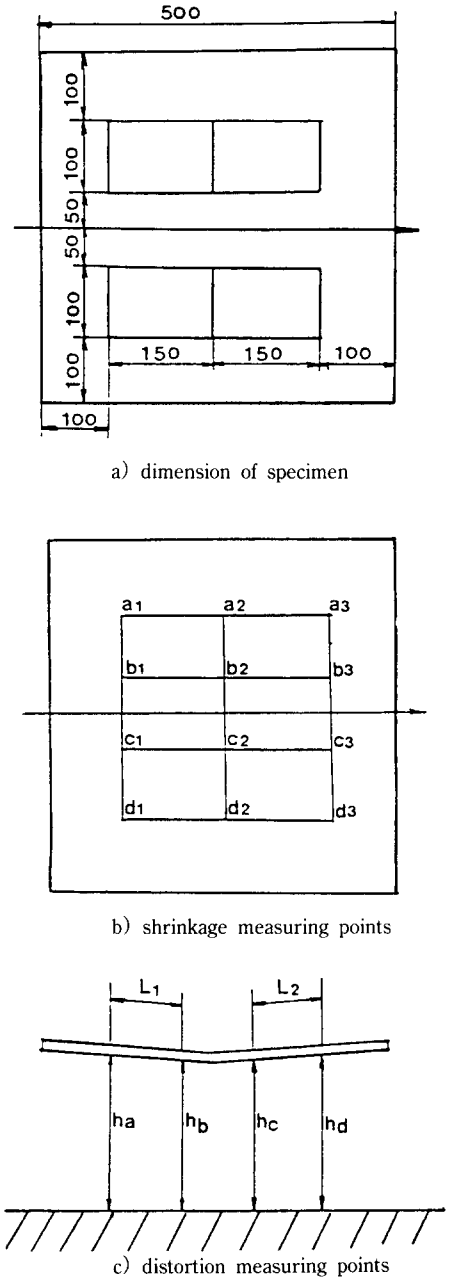
Fig. 1 Shapes and dimensions of tensile(a,b,c) and fatigue(b) specimen

2.4. 조직 및 파면 관찰

광학현미경을 이용하여 용착 금속부, 열영향부 및 모재의 조직을 관찰하였고 주사 전자현미경을 이용하여 인장 및 피로 파면을 관찰하였다.

2.5. 수축량 및 각변형량의 측정

각 방법의 변형 교정 효과를 비교하기 위하여 500x 500x4.8mm의 판재에 각 1회 MIG판상용접 및 TIG 가열을 행하여 수축량 및 각변형량을 측정하였다. 각 변형량은 다이얼 게이지를 이용하여 기준점을 설정하고 변형후의 높이 차이를 측정하여 구하였다(Fig.2).



a) dimension of specimen

b) shrinkage measuring points

c) distortion measuring points

Fig. 2 Specimens for distortion and shrinkage measurement (unit : mm)

2.6. 온도분포 및 열응력의 계산

변형교정부의 열응력 변화와 열이력을 정량적으로 파악하기 위하여 컴퓨터를 이용한 해석을 수행하였다. 각 방법의 시간에 따른 변형교정부의 용융부의 크기와 온도분포를 범용 유한요소 프로그램인 ADINAT[2]를 이용하여 계산하였다. 또한 TIG를 이용하였을 경우의 가열부의 시간에 따른 열응력의 변화를 ADINA프로그램[3]을 이용하여 계산하였다. 해석 대상 단면을 Fig. 3에 나타내었다. 해석은 고정된 2차원 단면에 Fig. 3의 화살표 방향으로 열원이 접근한 후 다시 멀어지는 상태에 대하여 실시하였다. 온도분포 및 응력 계산시 재료의 온도에 따른 비열, 열전도도, 항복 응력, 열팽창률, 탄성계수의 변화를 고려하였고 용융잠열, 공기접촉면의 대류 및 복사에 의한 열손실등의 효과를 고려하였다.

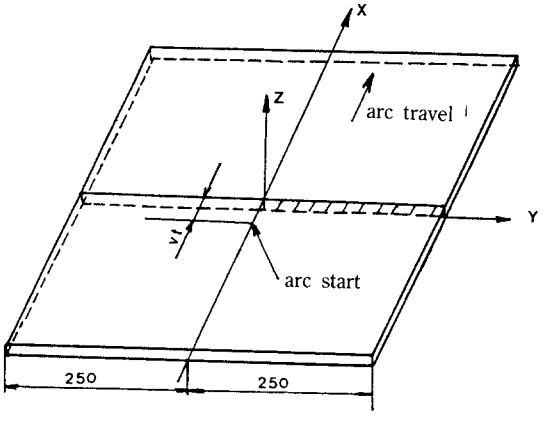
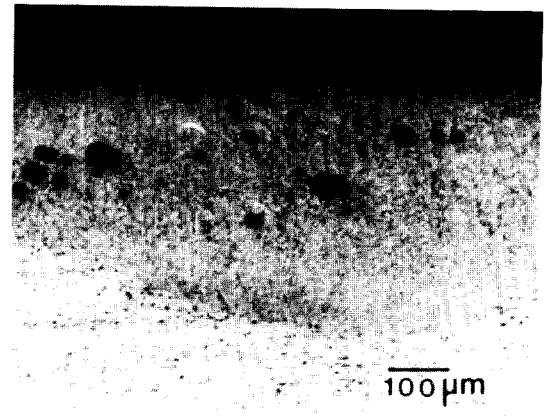


Fig. 3 Y−Z plane to be analyzed by the ADINA and ADINAT (unit : mm)

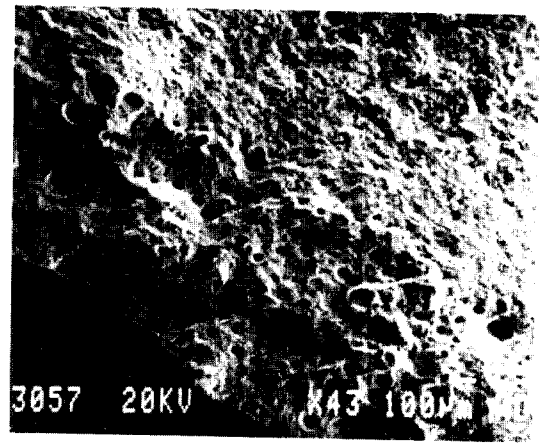
3. 결과 및 고찰

3.1. 표면 결함 및 조직의 관찰

MIG 변형교정법은 GMAW용접을 판상위에 행하고 비드를 갈아내는 방법이므로 Fig. 4와 같이 변형교정부는 용착금속이 모재에 일부분 용입된 형태를 나타낸다. 이 용착금속부에는 기공이 항상 존재하게 된다. 이 기공이 발생하는 주원인은 수소라고 알려져



a) transverse section of weldment (optical microscope)



b) longitudinal section of weldment (SEM)

Fig. 4 Porosities in weld metal (GMAW method)

있다. 수소의 근원은 기름이나 그리스에서 생기는 탄화수소 및 용접재료의 표면에 묻어있는 수분이다. 용착금속부는 전형적인 수지상을 나타내고 있고 Cu, Fe, Cr, Mn, Ti 같은 첨가원소가 편석을 이루고 있음을 알 수 있다. 열영향부는 알루미늄의 열전도도가 크기 때문에 폭이 좁은 것을 알 수 있다. 모재의 기지에 존재하고 있는 불용성상(MnAl6, Mg2Si)들이 열영향부에는 성장된 상태로 되어있어 열영향부의 입자가 전반적으로 성장하였음을 알 수 있다(Fig. 5).

TIG를 이용하여 변형교정을 하였을 경우에는 용융부 및 열영향부가 생기게 된다. 용융부의 형태는 교류극성과 비교적 긴 아크길이의 영향때문에 불연속적인 양상을 갖게 된다. 현미경으로 관찰하였을 때

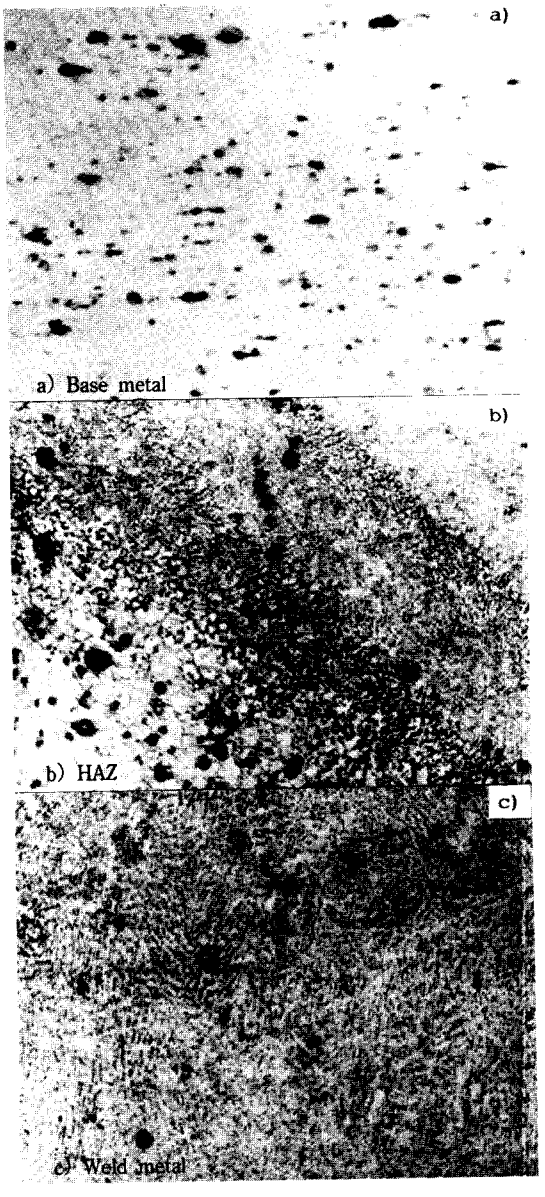


Fig. 5 Microstructure of GMAW weld zone

이 용융부에는 항상 균열이 존재하고 있음을 발견하였다.(Fig. 6) 균열의 원인을 찾기 위하여 인장력을 가하여 벌어진 균열 내부를 관찰하였으나 불순원소나 화합물의 존재를 볼 수 없었다.(Fig. 7) 고온 균열의 원인은 불순원소의 입계편석에 의한 것과 고온상태의 강도가 낮은 재료에 작용되는 응력에 의한 것으로 알려져 있는데[4] 이 균열은 용융부의 응고시 용융

Fig. 6 Surface apperance of GTA heating area (AC)
a) as faired b) as faired microstructure (SEM)
c) as polished microstructure (optical microscope)

부주변에 작용되는 인장력에 의해 발생된 고온균열인 것으로 판단된다.

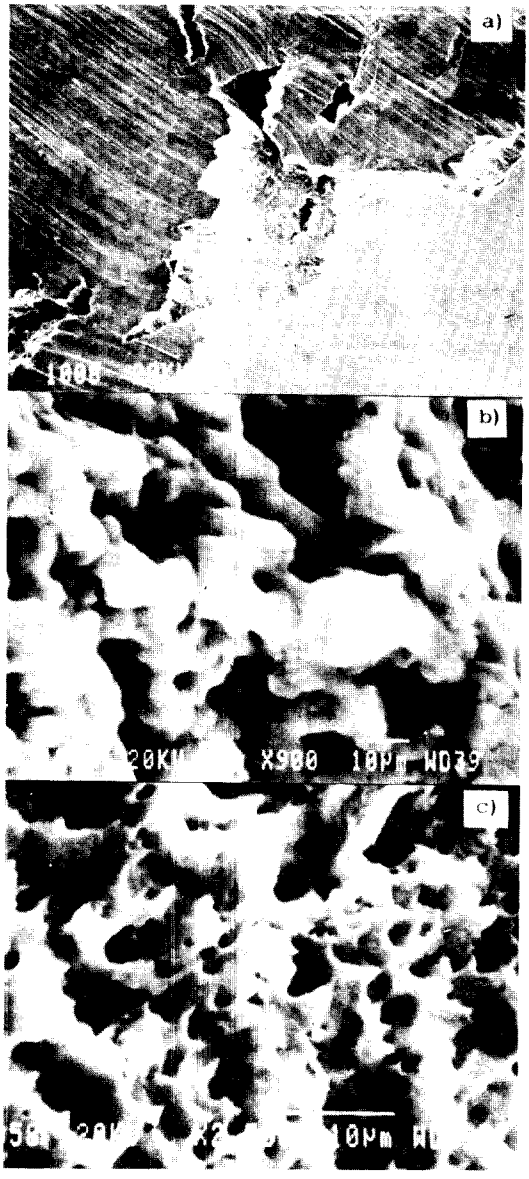


Fig. 7 Fracure surface of tensile specimen
a) fracure surface of tensile specimen
b) intergranular fracture
c) ductile fracture

이 균열이 열응력에 의한 고온 균열이라는 것은 본 논문의 3.8 및 3.9절에 기술된 정량적 계산결과에 의해서 확인할 수 있었다. 이 결과에 의하면 용융되었던 부분이 응고되는 고온상태에서 상당한 인장력이 작용됨을 알 수 있는데 고온에서는 본 실험재료 같은 경우 취성이 커지고 인장강도가 상당히 작아지므로 이러한 취약한 상태에서 균열이 발생된 것으로 판단된다.

3.2. 경도

MIG 판상용접부와 TIG를 이용한 변형교정부의 표면을 매끈하게 갈아낸 후 비커스 경도를 측정한 결과 MIG 판상용접부의 용착금속부의 경도가 TIG 가열부의 국부 용융부나 열영향부의 경도보다 낮게 나타났다.(Fig. 8) 따라서 변형교정을 위해 MIG판상용접을 판재위에 여러차례 하였을 경우 연성이 크고 경도가 낮은 금속을 판재에 입히는 효과를 가져오게 된다. TIG를 이용하여 변형교정을 하였을 경우의 표면의 경도저하는 모재에 비해 심하지 않다.

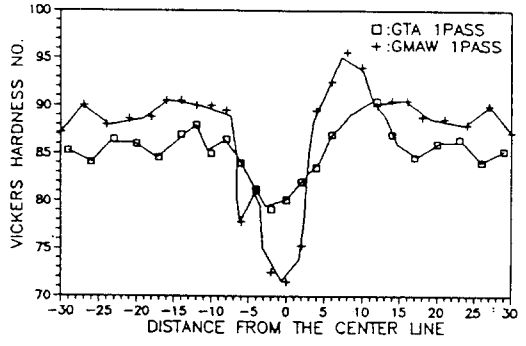
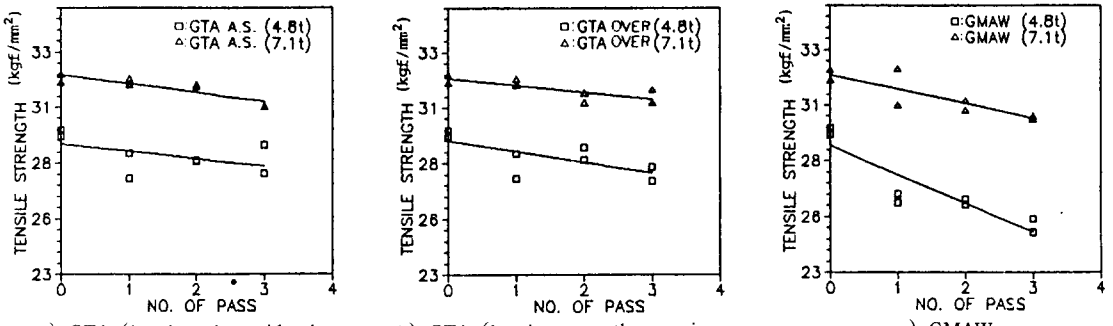


Fig. 8 Hardness distribution

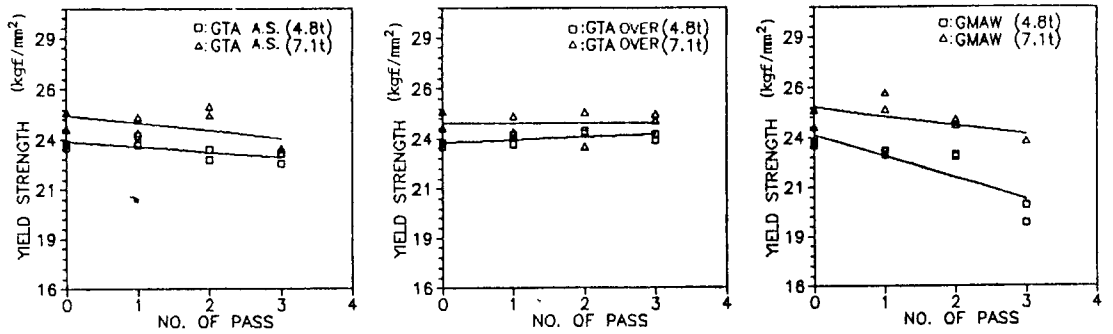
3.3. 인장 강도

판재의 변형을 교정하기 위해서는 보통 여러 차례의 판상용접 혹은 가열을 판재위에 연속하여 하게 되는데 이 가열 횟수에 따른 판재의 인장 강도 특성 변화를 파악하는 것이 필요하다. Fig. 9에 변형 교정 방법 및 횟수에 따른 인장강도 시험 결과가 나타나 있다. 이 결과를 보면 변형교정 횟수가 증가함에 따라 MIG 판상용접부의 인장강도가 TIG 변형교정부의 인장강도보다 더욱 심하게 감소함을 알 수 있다. 이것은 판상용접시 연성이 크고 강도가 낮은 용착금속부가 용접횟수가 증가함에 따라 확대되었기 때문이며 또한 용착금속부의 기공에 의한 단면 감소효과도 커지기 때문이다. 반면에 TIG 변형교정부의



a) GTA (heating along-side the previous pass) b) GTA (heating over the previous pass) c) GMAW

Fig. 9 Change of tensile strength with number of pass and thickness



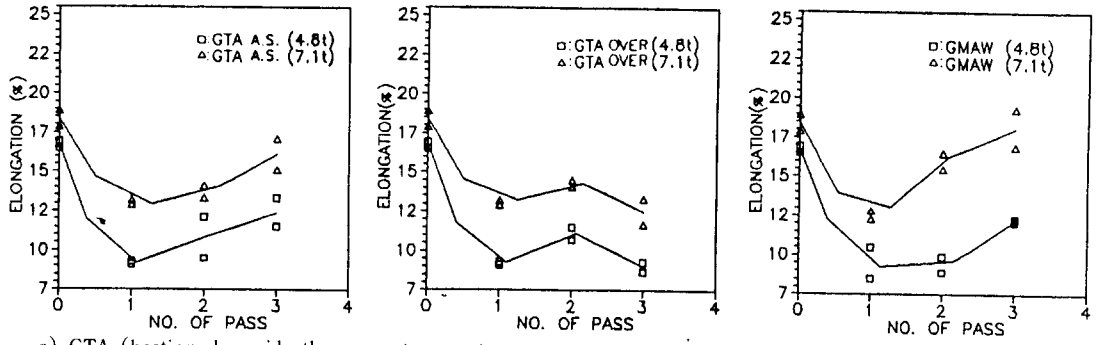
a) GTA (heating along-side the previous pass) b) GTA (heating over the previous pass) c) GMAW

Fig. 10 Change of yield strength with number of pass and thickness

표면균열은 인장강도의 감소에 큰 영향을 끼치지 않는다는 것을 보여주고 있다. 항복강도의 경우에도 마찬가지의 경향을 보이고 있는데(Fig. 10) 특이한 것은 TIG를 이용한 가열을 판재위에 중첩하여 실시하였을 경우 가열 횟수 증가에 따라 오히려 항복강도가 커지는 경향을 보이고 있다는 점이다. 이것은 중첩하여 가열함에 따라 표면균열의 깊이가 깊어지고 이 깊어진 표면균열에 응력집중이 생기게 되어 3축 응력상태가 되었기 때문이다. 일반적으로 노치가 있을 경우 인장방향의 응력뿐만 아니라 인장방향에 수직방향의 응력이 노치에 생기게 되어 노치가 없을 경우의 항복응력 보다 큰 응력에서 항복이 일어나게 되고 연신율은 저하하게 된다.[5] TIG의 중첩가열부에서는 이러한 노치 강화 효과가 일어났음을 알 수 있다.

3.4. 연신율

연신율은 1회 가열한 경우에 감소하였다가 2, 3회 가열함에 따라 다시 증가함을 MIG 판상용접부와 TIG의 연속가열부에서 볼 수 있다(Fig. 11 a,c). 이것은 1회에서 노치의 효과에 의해 감소했으나 2,3회에서는 연성이 높은 부위가 확대되어 노치효과보다 우세한 영향을 끼쳤기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 TIG의 중첩가열부의 경우에는 연신율이 2회에서는 증가하나 3회부터는 다시 감소하는 양상을 보이고 있다(Fig. 11 b). 이것은 표면균열이 깊어지고 가열 부위가 한정되어 노치 효과가 더 커지기 시작했기 때문이다.



a) GTA (heating along-side the previous pass)　b) GTA (heating over the previous pass)　c) GMAW

Fig. 11 Change of elongation with number of pass and thickness

3.5. 피로 강도

MIG 판상용접부 및 TIG 가열부의 피로시험 결과가 Fig. 12에 나타나 있다. 시험결과에 의하면 표면균열이 있는 부분의 피로강도가 기공이 혼입되어있는 MIG 판상용접한 변형교정부보다도 현저히 떨어짐을 알 수 있다. MIG 판상용접부는 모재에 비하여 떨어지나 같은 두께의 단층 맞대기 용접부보다 피로 성질이 그다지 나쁘지 않음을 유사한 피로한도(비드제거한 MIG변형교정부 ; 8 kg/mm², 비드제거한 MIG 단층맞대기용접부[1] ; 14.1 kg/mm², 비드존재하는 MIG 단층맞대기용접부[1] ; 7.8 kg/mm²,)를 갖는다는 사실로부터 알 수 있다. MIG 판상용접한 변형교정부는 비드를 갈아냈기 때문에 비드가 있는 맞대기용접부보다 피로한도가 높아야 하나 거의 같은 피로한도를 나타내고 있다. 이 사실로 미루어 볼때 많은 횟수의 판상용접을 실시하여 변형교정할 경우 표면결함부위가 확대되어 피로균열발생확률이 커지고 피로강도에 좋지 않은 영향을 끼칠 수 있을 것으로 생각할 수 있다.

피로균열은 모두 기공이 존재하는 용착금속부와 고온균열부에서 시작되었음을 파면관찰로부터 알 수 있다. MIG 판상용접부의 경우에는 표면 가까이에 있는 커다란 기공으로부터 피로균열이 시작됨을 알 수 있고(Fig. 13), TIG 변형교정부에서는 이미 존재하고 있던 고온균열에서 피로균열이 시작됨을 알 수

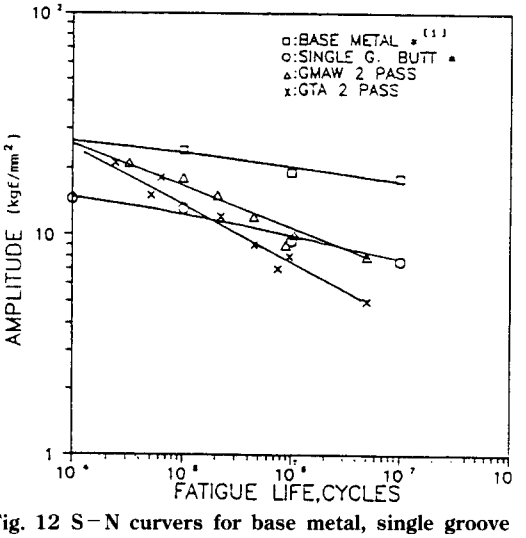


Fig. 12 S-N curvers for base metal, single groove butt joint, GMAW and GTA fairing area

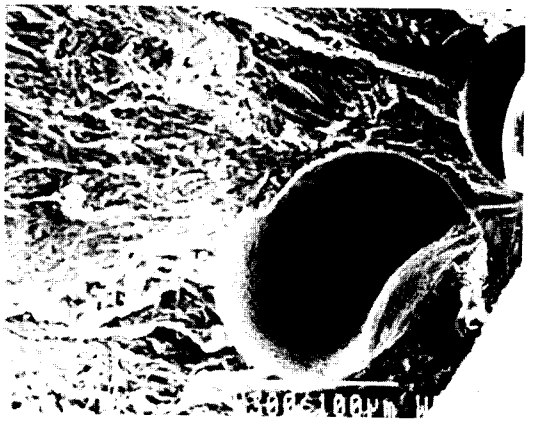


Fig. 13 Fatigue fracture surface (GMAW)-fatigue initiation area

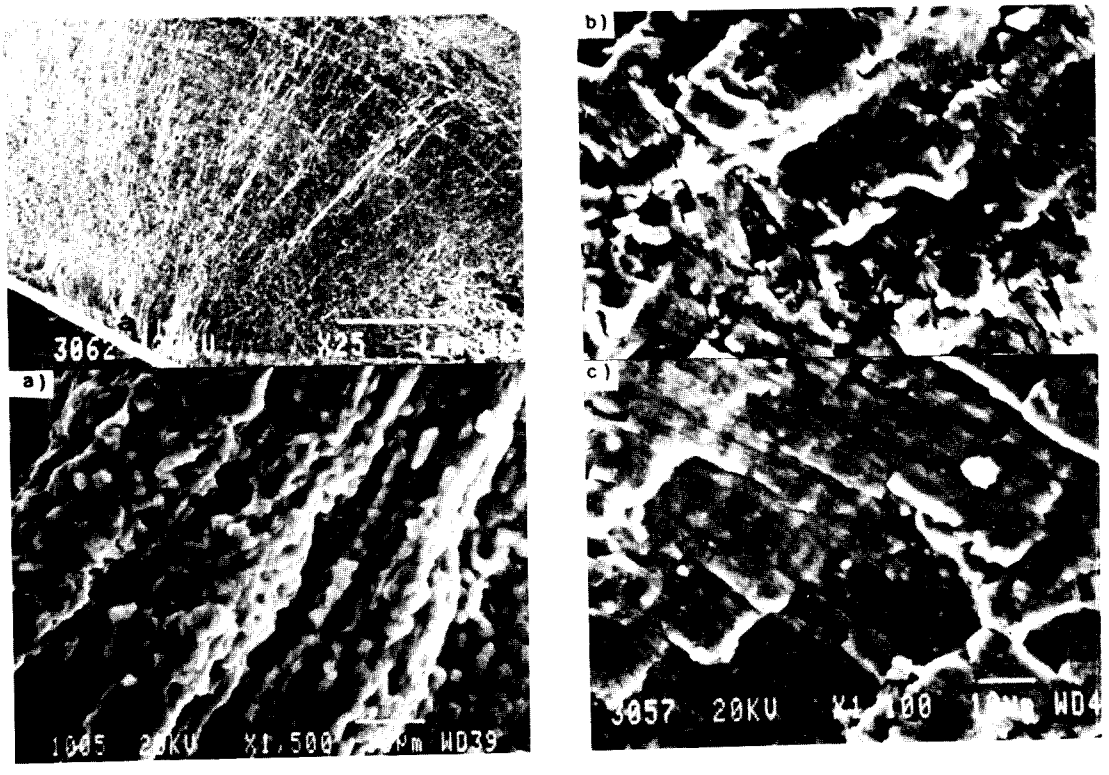


Fig.14 Fatigue fracture surface (GTA)

있다(Fig. 14). TIG 변형교정부의 피로파면을 상세히 보면 피로균열 시작부분인 a)부분에서 고온균열의 흔적인 입계균열의 대표적인 입자형상을 관찰할 수 있고 피로균열 전파부분인 b)와 c)부분에서는 피로파면의 전형적인 줄무늬(striation)를 관찰할 수 있다.

3.6. 두께 감소

MIG 판상용접 혹은 TIG 가열을 한 후에는 도장작업을 위해 매끈히 갈아내는데 이로 인하여 변형교정부의 두께가 국부적으로 감소하게 된다. 이 두께감소는 각변형량이 클수록, 변형교정횟수가 많을

Table 2 Thickness decrease by finishing

Description	NO. of pass	thickness (UNIT : mm)					
		4.8			7.1		
		NO.1	NO.2	avg.	NO.1	NO.2	avg.
GTA	1	0.25	0.20	0.23	0.15	0.15	0.15
GTA ALONG-SIDE	2	0.25	0.20	0.23	0.30	0.10	0.20
GTA ALONG-SIDE	3	0.25	0.15	0.20	0.20	0.20	0.20
GTA OVER	2	0.15	0.20	0.17	0.20	0.10	0.15
GTA OVER	3	0.40	0.40	0.20	0.25	0.22	0.15
GMAW	1	0.35	0.30	0.33	0.25	0.35	0.30
GMAW	2	0.20	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15
GMAW	3	0.55	0.50	0.53	0.30	0.20	0.25

수록, 판두께가 작을수록 갈아내는 량이 커지게 됨을 Table 2의 두께 감소량 데이타를 통하여 확인하였다. 판 두께감소량의 범위는 0.15~0.5mm 정도이므로 이 두께감소량만큼 구조물의 강도가 약해진다는 것을 알 수 있다.

3.7. 수축량 및 각변형량의 측정

각 변형교정방법에 따른 수축량과 각변형량의 측정결과(Table 3)에 의하면 MIG 판상용접부가 TIG 가열부보다 수축량과 각 변형량이 모두 크다. 이는 MIG 판상용접시의 유효아크반경(3.5mm)이 TIG 가열시의 유효아크반경(5.0mm)보다 작아서 열량이 더 집중적으로 투입되었고 MIG의 아크효율(50~80%)이 TIG가열(20~50%)의 효율보다 높아서[6~8] 동일한 입열조건에서도 더 많은 열량이 투입되어 소성변형량이 더 많아졌기 때문이다. TIG 가열부의 수축량은 MIG의 67%, 각변형량은 MIG의 70%이다. 결국 변형교정효과는 열효율이 좋은 MIG 판상용접의 경우가 1.3~1.4배 정도 더 크다는 것을 알수 있다.

3.8. 온도분포의 계산

MIG 판상용접부와 TIG 가열부의 기계적 성질은 기공이나 고온균열같은 결함에 좌우될 뿐 아니라 각 부분의 시간에 따른 열이력에 좌우될 것이다. 각 변형교정부의 금속조직변화를 정량적으로 예측하기 위해 용융부의 크기변화 및 온도이력을 범용 유한요소 계산프로그램인 ADINAT를 이용하여 계산하였다.(Fig. 15~17) 열원은 모두 t=0 초에서 이동하기 시작하여 t=0.45초에서 분석대상단면에 도달한다. 즉, MIG의 경우 분석대상단면에서 아크열의 영향이 거의 없는 거리에서 출발하여 초당 2.25cm의 속도로 단면에 접근한 후 멀어지고 TIG의 경우는 동일한 곳에서 초당 2.0cm의 속도로 단면에 접근한 후 다시 단면으로부터 열원 진행방향으로 멀어지게 된다. 이때 고정된 단면의 온도분포를 시간에 따라 계산하였다.

MIG의 경우는 열량이 크고 유효 아크반경이 작으므로 매우 온도구배가 크게 된다. MIG의 온도분포는 열원이 단면에 도달하기까지는 온도상승이 TIG에 비해 느리나 단면에 도착한 이후 TIG에 비해 상당히 많은 열량을 용융부에서 좌우로 서서히 전달한다. 따라서 MIG의 경우는 TIG의 경우보다 냉각속도가 느리게 된다. 각 방법의 최대 온도는 모두 고정되어 있는 분석대상단면에 열원이 도달할 때(t=0.45초) 얻어진다. 그러나 용융부의 크기는 용융잠열의 효과로 인하여 열원이 단면을 지나고 난 이후인 0.60초에서 최대가 되었다. 용융부의 크기는 열량이 많이 투입된 MIG 판상용접부가 TIG 가열부보다 크다.

즉, 아크효율이 클수록 온도가 높아지고 유효아크반경이 적을수록 온도가 높아진다는 것을 알 수 있다. 위와 같은 각 변형교정부의 열이력으로부터 MIG 판상용접부가 더 많은 열량을 받아 열영향부 및 용융부가 더 커지게 됨을 알 수 있는데 이는 3.4절의 고찰결과와 잘 일치한다.

Table 3 Transverse Shrinkage and Angular Distortion due to Fairing

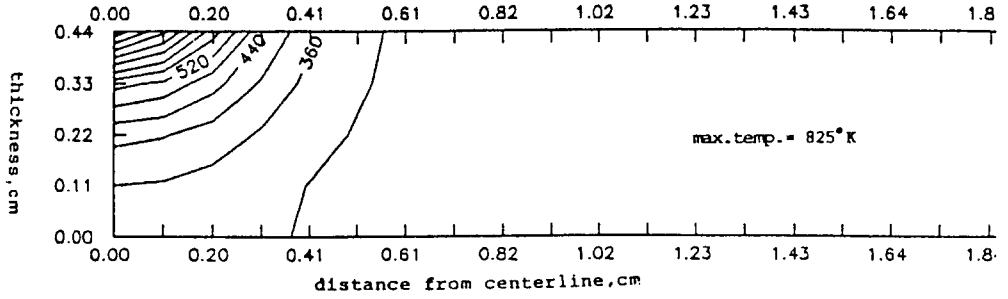
a) Transverse Shrinkage (unit : mm)

process	GMAW			GTA		
position	NO.1	NO.2	AVG.	NO.1	NO.2	AVG.
a1d1	0.20	0.40	0.300	0.15	0.10	0.125
a2d2	0.20	0.40	0.300	0.30	0.35	0.325
a2d3	0.35	0.40	0.375	0.25	0.15	0.200
AVG.	–	–	0.325	–	–	0.217

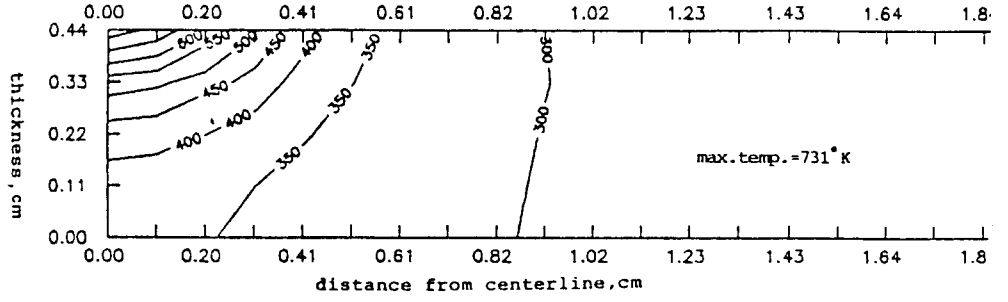
b) Angular Distortion (unit : radian)

process	GMAW			GTA		
position	NO.1	NO.2	AVG.	NO.1	NO.2	AVG.
$\phi 1$	0.0193	0.0172	0.0183	0.0110	0.0145	0.0128
$\phi 3$	0.0218	0.0167	0.0193	0.0119	0.0150	0.0137
AVG.	–	–	0.0188	–	–	0.0133

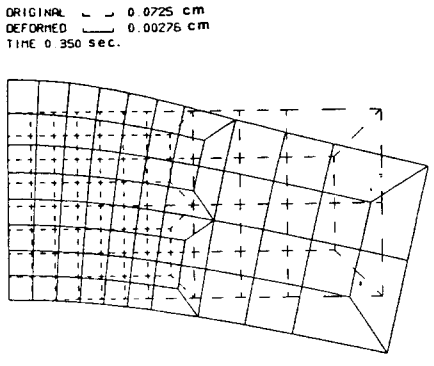
* $\phi n = 1/2[(ha_n - hb_n)/L1 + (hc_n - hd_n)/L2]$



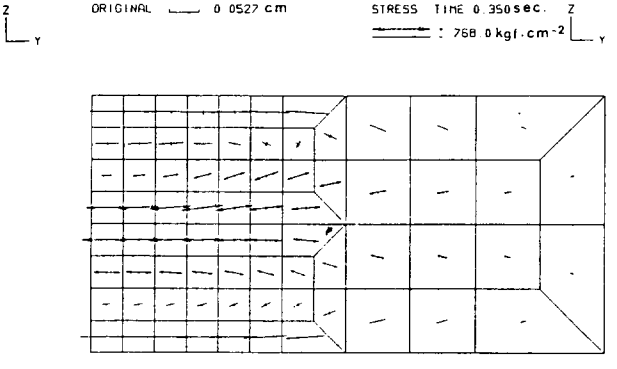
(a) temperatrue distribution (GMAW)



(b) temperature distribution (GTA)

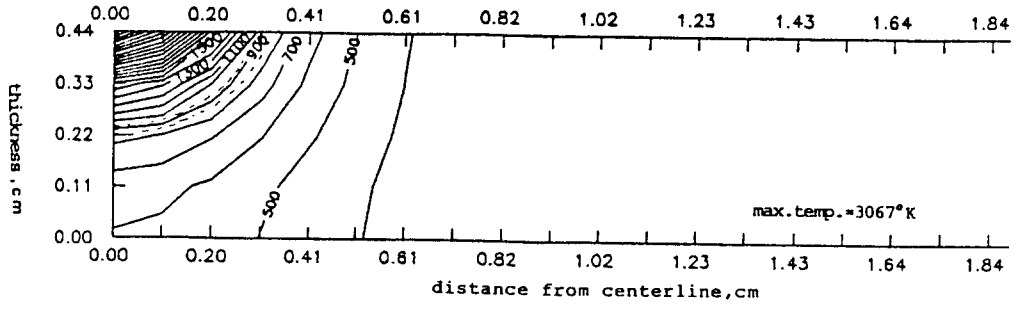


(c) displacement (GTA)

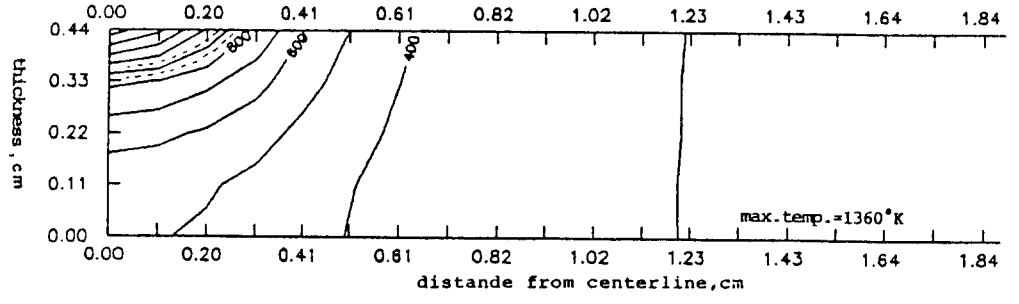


(d) principal stress (GTA)

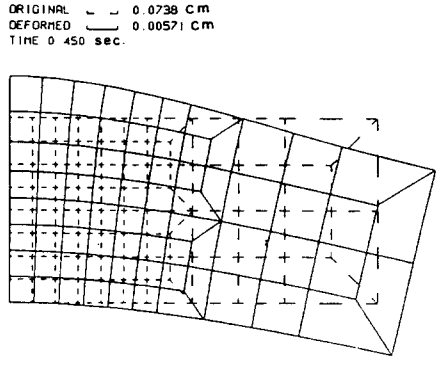
Fig. 15 Temperature distributions and thermal stresses during heating (t=0.35 sec.)



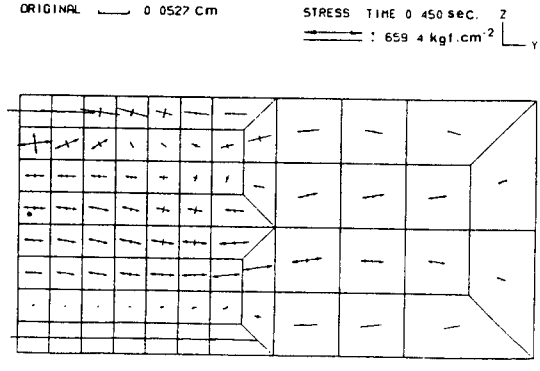
(a) temperatrue distribution (GMAW)



(b) temperature distribution (GTA)

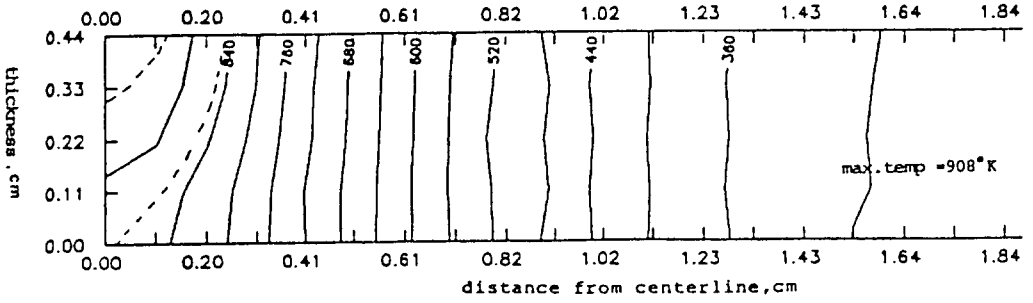


(c) displacement (GTA)

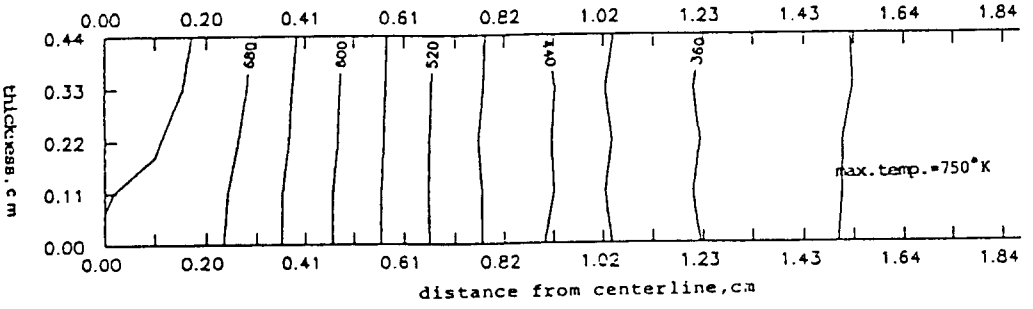


(d) principal stress (GTA)

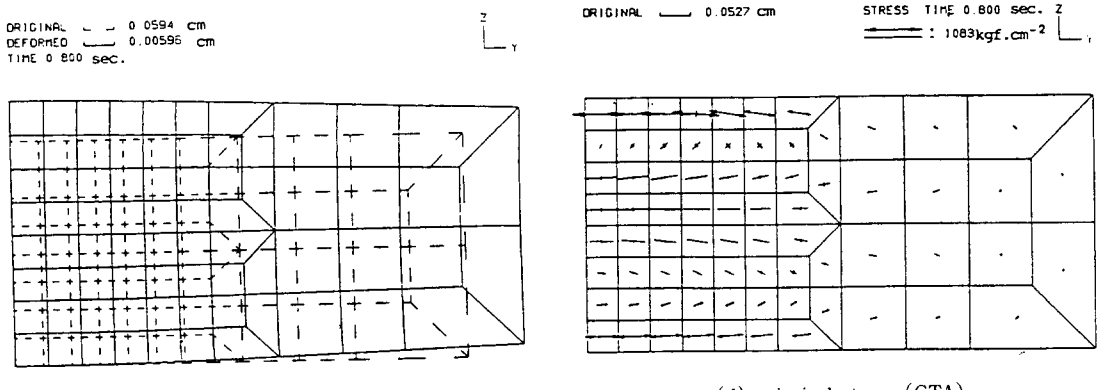
Fig. 16 Temperature distributions and thermal stresses when the arc reaching on the plane to be analyzed(t=0. 45 sec.)



(a) temperatrue distribution (GMAW)



(b) temperature distribution (GTA)



(c) displacement (GTA)

(d) principal stress (GTA)

Fig. 17 Temperature distributions and thermal stresses during cooling(t=0.80 sec.)

3.9. 열응력의 계산

TIG 가열부의 잔류응력 및 시간에 따른 응력상태의 변화를 정량적으로 평가하여 변형교정부의 결함의 원인을 파악하였다. TIG 가열부의 시간에 따른 응력변화가 Fig. 15~17에 나타나 있다. 이 계산결과를 보면 열원이 단면에 접근함에 따라 즉, 온도가 상승함에 따라 가열부가 팽창함을 볼 수 있다. 이 때 가열부는 주위의 차거운 재료에 의해 압축응력을 받게 되고 위로 볼록한 각변형거동을 나타낸다. 열원이 막 단면 위를 지나간 후(t=0.6초) 가열부의 온도가 떨어지고 열플럭스가 오른쪽으로 전파됨에 따라 가열부는 수축하려고 하고 인장응력을 받게 된다. 이때 우측상단은 위로 올라가게 된다. 이때부터는 계속 국부용융부 및 가열부가 인장응력을 받게 되는데 열원이 단면에 직접 열플럭스를 주지않는 지점에 갈 때까지 (t=0.9초) 비교적 급격히 수축을 하게 된다. 이때의 급격한 수축으로 인하여 용융되었던 약한 부위에 커다란 인장응력이 작용되는 것을 Fig. 17의 응력벡터들이 잘 보여주고 있다. 고온에서는 알루미늄합금재료의 인장강도(6061-T6의 경우 370℃에서 항복강도[9]가 2.1 kg/mm²가 상당히 떨어지게 되는데 고온일때의 인장방향의 열응력이 재료의 인장강도를 초과하게 되므로 TIG 가열부에 고온균열이 발생하게 된다. 변형량이 더 많은 MIG판상용접부에 균열이 관찰되지 않는 것은 TIG 가열법에 의한 변형교정부와는 달리 유동성등이 매우 좋은 용접와이어가 공급되어 균열발생을 방지하기 때문이다. 열원이 더욱 멀어짐에 따라 각변형은 위로 오목한 상태로 완만하게 진행되는 것을 알 수 있다. 국부용융부 및 가열부는 변형이 완료될 때까지 계속 인장응력을 받게된다.

본 계산에 사용된 ADINA프로그램은 용융부의 거동을 계산하는 논리가 들어있지 않고 용융점에서의 기계적 성질을 실제값인 0으로 입력할 수 없기 때문에 용접시의 응력변화를 정확히 계산하기는 어려웠으나 정성적인 거동을 이해하는 것은 가능하였다. 용융부의 거동을 나타내기 위해서는 재료가 녹을 때 그때까지 축적한 소성변형률을 풀어버려야 하고 다시 응고될 때는 새롭게 소성변형률을 축적하기 시작하는 논리가 해석 프로그램에 반영되어야 한다[10]. 용접현상의 시뮬레이션기술을 실용화하기위해서는 용접현상해석에 적합한 프로그램의 개발, 슈퍼컴퓨터와 같은 대형컴퓨터의 발전등이 필요할 것이나, 실제 작업에 적용하려는 노력도 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

4. 결 론

새로운 알루미늄구조물변형교정법인 Autogeneous GTAW 가열법의 사용에 따른 기계적 성질변화와 결함특성을 기존의 MIG법과 비교조사하고 변형교정부에 대한 열탄소성해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Autogeneous GTAW를 사용한 구조용 알루미늄 합금판재의 변형교정법(TIG가열법)에서는 용융부에 고온 균열이 생기고 MIG법을 사용한 경우는 용착금속부에 조그만 기공이 다량 존재한다.

2. 인장강도의 감소는 표면균열이 있는 TIG 가열법의 경우가 기존의 MIG법보다 적다. 두 방법은 모두 변형교정회수가 늘어 날수록 인장감소의 감소가 커지며 MIG법의 경우 판두께가 작을수록 인장강도의 감소가 커진다. 인장특성에 미치는 주요인자는 TIG의 경우 고온균열이며 MIG의 경우는 기공과 용착금속부및 열영향부의 입자조대화이다.

3. 경도 분포는 MIG 용착금속부의 경도가 TIG 가열부보다 낮게 나타났다.

4. 피로강도는 TIG 가열법을 이용한 변형교정부가 고온균열의 영향으로 인하여 MIG법에 의한 변형교정부보다 나쁘게 나타났다. 변형교정횟수가 늘어 날수록 두 방법 모두 표면결함부위가 확대되므로 피로특성에 나쁜 영향을 끼칠 수 있다.

5. TIG 가열법은 높은 작업능률을 가져올 수 있으나 고온균열의 발생으로 피로수명이 저하되므로 실제 현장에 적용하는 것은 어려운 것으로 판단된다.

6. 각 변형교정법의 변형교정효과를 조사하기위해 각변형량 및 수축량을 측정하였다. 이 결과 MIG법의 변형교정부는 TIG가열법 1.3~1.4배의 변형량 및 수축량을 나타낸다는 것을 알 수 있었다. 이는 아크효율의 비와 유사함을 알 수 있다.

7. 열전달해석용 유한요소프로그램인 ADINAT를 이용하여 각 변형교정부에 대해 수치계산을 수행하여 열적 거동을 정량적으로 예측하였다. 이 계산 결과에 의해 MIG 변형교정부에 많은 열량이 투입된다는

것을 알 수 있다.

8. TIG 가열부의 시간에 따른 각변형거동 및 열응력상태를 ADINAT에서 계산한 온도데이타를 이용하여 범용 유한요소프로그램인 ADINA로 계산하였다. 계산된 열응력상태를 조사하여 TIG 가열부에서의 고온균열이 열응력에 의한 것임을 확인하였다.

참 고 문 헌

1) W. W. Sanders, Jr. : "Fatigue Behavoir of Aluminum Alloy Weldments", WRC Bulletin 171, April 1972, pp. 18~21
2) "ADINA-A Finite Element Program for Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis", ADINA Engineering, Inc., 1984
3) "ADINA-A Finite Element Program for Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis of Temperatures", ADINA Engineering, Inc., 1984
4) R. B. Hetnaski : "Thermal Stress I", Elsevier Publishers B.V., Netherlands, 1986, p. 342
5) 이동녕, "금속강도학", 문운당, 1986, pp. 276~279
6) W. G. Essers and R. Walter : "Heat Transfer and Penetration Mechanism with GMA Plasma-GMA Welding", W. J., Vol.60, Feb. 1981, pp.37s~42s
7) Sindo Kou : "Welding Metallurgy", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1987, p. 33
8) V. J. Papazoglou : "Analyhtical Technigues for Determining Tempertures, Thermal Strains and Residual Stresses during Welding.", Ph. D. thesis, M. I. T., May 1981, p. 36
9) K. Masubuchi : "Analysis of Welded Structures", Pergamon Press, 1980, 1st ed., p. 160
10) V. J. Papazoglou, ibid, pp. 206~225