

Cu-Sn 삽입금속을 이용한 DP강의 아크 브레이징 접합부의 미세조직과 인장특성

조옥제* · 조영호** · 윤중길*** · 강정윤***,†

*B&G steel(주) 기술관리부 연구개발팀

**현대중공업(주) 생산기술연구소

***부산대학교 재료 공학부

Microstructure and Tensile Strength Property of Arc Brazed DP steel using Cu-Sn Insert Metal

Wook-Je Cho*, Young-Ho Cho**, Jung-Gil Yun*** and Chung-Yun Kang***,†

*B&G steel, Advanced Material Reserch Team, Changwon 642-370, Korea

**Hyundai Heavy Ind, Industrial Research Institute /R&D Division, Ulsan 682-792, Korea

***Dept. of Material Science and Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

†Corresponding author : kangcy@pusan.ac.kr

(Received January 28, 2013 ; Revised February 25, 2013 ; Accepted February 28, 2013)

Abstract

The following results were obtained, microstructures and tensile properties in arc brazed joints of DP(dual phase) steel using Cu-5.3wt%Sn insert metal was investigated as function of brazing current.

1) The Fusion Zone was composed of $\alpha\text{Fe}+\gamma\text{Cu}$ and $\text{Cu}_{23}\text{Sn}_2$. The reason for the formation of these solid solutions. Despite, Fe & Cu were impossible to solid solution at room temperature. It's melting & reaction to something of insert metal & Base Metal (DP Steel) by Arc. Brazing Process has faster cooling rate then Cast Process, Supersaturated solid solution at room temperature. 2) The increase Hardness of Fusion Zone was directly proportional to the rise of welding current. Because, $\alpha\text{Fe}+\gamma\text{Cu}$ phase (higher hardness than the $\text{Cu}_{23}\text{Sn}_2$. (104.1Hv < 271.9Hv)) Volume fraction was Growth, due to increasing the amount of base metal melting by High current. 3) The results of tensile shear test by Brazing, All specimens happen to fracture in Fusion Zone. On the other hand, when Brazing Current increasing tend to rise tensile load. but it was very small, about 26-30% of the base metal. 4) The result of fracture analysis, The crack initiate at Triple Point for meet to Upper B.M/Under B.M/Fusion Zone. This Crack propagated to Fusion zone. So ruptured by tensile strength. The Reason to in the fusion zone fracture, Fusion zone by Brazing of hardness (strength) was very lower then the base metal (DP steel). In addition the Fusion Zone's thickness in triple point was thin than the base metal's thickness in triple point.

Key Words : Ferritic stainless steel, Arc brazing, Microstructures, Tensile properties, Second phase

1. 서 론

현재 자동차 차체에는 일반 강에서 1000MPa급 첨단고장력강까지 다양한 강종들이 적용되고 있고, 특히 DP강은 자동차 차체의 트렁크리드, 사이드 필러 등 미

려한 외관이 필요한 접합부에 적용된다^{1,2)}. 이러한 첨단고장력 강판에 MIG와 TIG용접을 적용할 경우, 과도한 입열로 인하여 모재가 심하게 변형되고, 용접열영향부 넓게 형성되어, 내식성 및 기계적 성질이 저하하기 때문에, 결국 제품 수명을 저하시키는 문제가 초래되는 것으로 알려져 있다³⁻⁵⁾.

한편 아크 브레이징은 MIG 또는 TIG 용접과 브레이징 접합법을 하이브리드화 시킨 접합방법으로, 브레이징 용접와이어와 모재사이에 아크를 발생시켜, 이 아크열을 이용하여 접합하는 공정이다. 이 공정의 장점은 강판에 대한 열영향이 적고, 자동화가 용이하며, 또한 역극성 전원을 사용함에 따라 모재의 청정작용으로 플럭스 사용이 불필요하고, 스파터 또는 흠의 발생이 아주 적다는 장점을 가지고 있다⁽⁶⁻⁸⁾.

자동차 강판의 아크브레이징에 관한 연구는 기본적으로 연강(베어/코팅강판)에 관한 연구가 대부분^(9,10)이고, 사용한 필러는 주로 Cu-Si 합금이 대부분⁽¹¹⁻¹³⁾이며, 대부분의 연구가 아크브레이징 조건 혹은 용접변수 설정에 관한 연구가 대부분^(14,15)이다.

따라서 본 연구팀은 차체 경량화를 위해 주로 멤버(member)와 보강재료(Reinforcement)로 사용되고 있는 인장강도 1000MPa급 DP(Dual Phase)강의 아크 브레이징(겹치기) 기술을 확립하는 목적으로, 용접부의 기계적 성질과 용접부의 미세조직에 미치는 필러의 조성과 접합조건에 영향을 대해 검토하였다. 본 논문은 Cu-5.3wt%Sn 합금을 필러로 사용한 경우, 브레이징 접합부의 미세조직, 경도 및 인장성질에 미치는 브레이징 전류의 영향에 대해 분석한 결과와 이에 대해 고찰한 것이다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 DP(Dual Phase)강은 두께 1.6mm 인 인장강도 1000MPa급을 사용하였고, 화학조성과 기계적 성질을 Table 1에 나타낸다. 한편 브레이징에 사용한 필러와이어는 Sn-5.3wt%Sn 합금을 사용하였다.

아크 브레이징은 직류 역극성(DCEP)인 GMAW 자동 용접기로서, 펄스전원을 사용하였다. 토치는 하판과 75°로 기울인 상태로 행하였다. Table 2에 공정변수를 나타낸다. 브레이징 시험편은 아세톤으로 탈지한후, 사용하였다.

Table 2 Arc brazing parameters

Variables	Range
Current	60, 70, 80A
Voltage	22~20V
Brazing speed	800mm/min
CTWD	10mm
Shielding gas	Ar (20l/min)

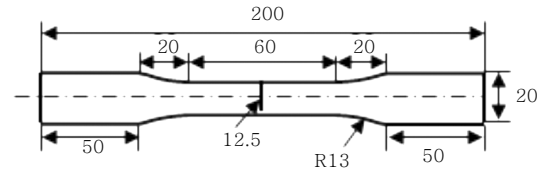


Fig. 1 Specimen size for tensile shear test

아크 브레이징한 시편의 미세조직은 2% 나이탈(HNO3 2ml+C2H5OH 98ml) 용액으로 2~10초간 부식시켜, 광학현미경과 주사식전자현미경(Scanning Electron Microscope, 이하 SEM)으로 관찰하였다.

경도는 미소경도시험기를 사용하여 하중(load)을 300gf, 유지시간을 10초로 하여 측정하였다.

인장전단 시험편은 박판재의 인장시험편은 ASTM A370 규격으로 Fig. 1과 같이 가공하여 사용하였고, 인장은 크로스헤드 속도를 5mm/min로 하여 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 원소재의 미세조직

Fig. 2는 본 연구에 사용된 DP강 판재의 미세조직을 나타낸 것이다. 이 조직사진으로부터 페라이트(F) 기지에 마르텐사이트(M)와 베이나이트(B) 3상으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

본 연구에 사용된 Cu기 삽입금속은 인발 가공된 상태이므로, 원 삽입금속의 응고된 조직을 관찰하기 위해 고주파 용해로로 적당량을 세라믹 도가니에 응고시켜

Table 1 Chemical composition of raw materials(wt%), mechanical properties of raw materials

Materials	C	Mn	Si	Mo	N	Nb	Ti	Fe	Thickness (mm)
DP1000	0.108	3.187	0.167	0.008	0.009	0.05	0.013	Bal.	1.60
Hardness (Hv)	Y.S(Mpa)			T.S(Mpa)			El(%)		
340	728			1040			17.65		

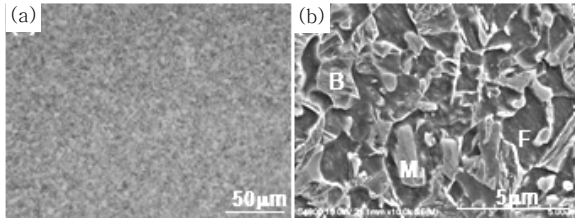


Fig. 2 Microstructure of the base metal

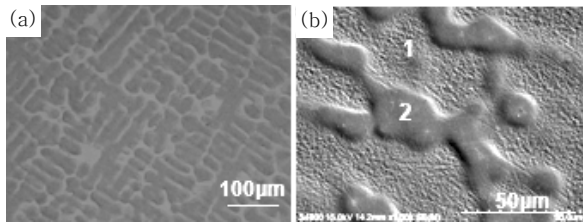


Fig. 3 Microstructures of the metal insert alloy

Table 3 EDX results of phases denoted by 1 and 2 in (b) of Fig. 2

No.	Cu	Sn	phase
1	100	-	(Cu)
2	92.3	7.7	Cu ₂₃ Sn ₂

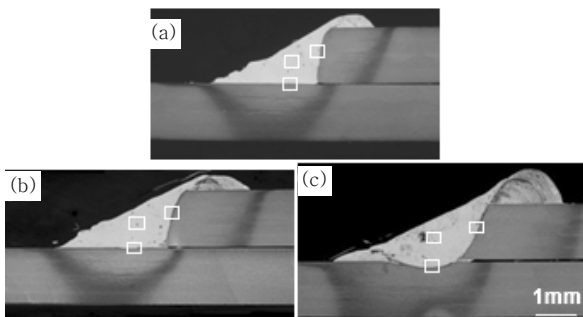


Fig. 4 Cross sections of brazed joints. (a) 60A, (b) 70A, (c) 80A

조직관찰을 하였다.

Fig. 3은 용고된 삽입금속의 광학현미경 및 SEM 조직을 나타낸 것이다. 광학현미경 조직은 전형적인 덴드라이트 조직을 나타낸다.

Table 3은 Fig. 4 (b)의 SEM조직에서 덴드라이트 중심부(1)과 경계부(2)를 EDX로 성분분석한 결과를 나타낸 것으로, 중심부는 순수 Cu상이고, 경계부는 Cu-Sn 화합물임을 알 수 있다. 이 화합물은 조성분석 결과와 Cu-Sn 2원계 평형상태도¹⁶⁾로부터 Cu₂₃Sn₂인 것으로 확인되었다.

3.2 브레이징부의 미세조직과 경도

Fig. 4는 아크 브레이징한 접합부의 단면 거시조직이고, Fig. 5는 Fig. 4의 삽입금속 용융부에 □로 표시된 영역을 확대한 광학현미경(a~c)과 SEM 조직(d~f)을 나타낸 것이다. Fig. 4의 상판 용융부의 계면으로부터, 전류가 증가할수록, 모재가 많이 용융되어 있음을 볼 수 있고, 특히 전류가 높은 80A에서는 하판 모재의 용융현상이 현저함을 볼 수 있다.

Fig. 5로부터, 용융부는 미세한 구형의 상과 조대한 상들이 형성되어 있음을 볼 수 있다. 이 상들이 어떤 상들인가를 파악하기 위하여, EDX로 성분분석을 하여 보았다.

Fig. 6의 (a)은 Fig. 5 (e)의 □로 표시된 영역을 확대한 SEM 조직이고, A~C로 표시된 상을 EDX로 성분분석을 한 결과를 나타낸 것이다. 기지 조직인 A는 EDX 성분결과로부터 Cu-Sn 삽입금속의 Cu₂₃Sn₂ 상이고, 조대한 제2상은 Fe를 주성분으로 하는 기지(C)에 Cu를 주성분으로 하는 미세한 상(B)인 2개의 상으로 이루어져 있다. 그리고 Fig. 6의 (b)와 (c)는 아주 미세한 구상(Fig. 6 (a)의 1)은 아주 미세하여 EDX로 정확한 정량분석이 어려워, 선 분석으로 나타난 것으로, 이상도 Fe를 주체로 Cu와 Sn이 약간 포함된 상임을 알 수 있다.

용융부에 미세한 Fe기 Fe-Cu상과 조대한 Fe-Cu상과 Cu-Fe 혼합상이 형성되는 과정을 Fe-Cu 2원계 상

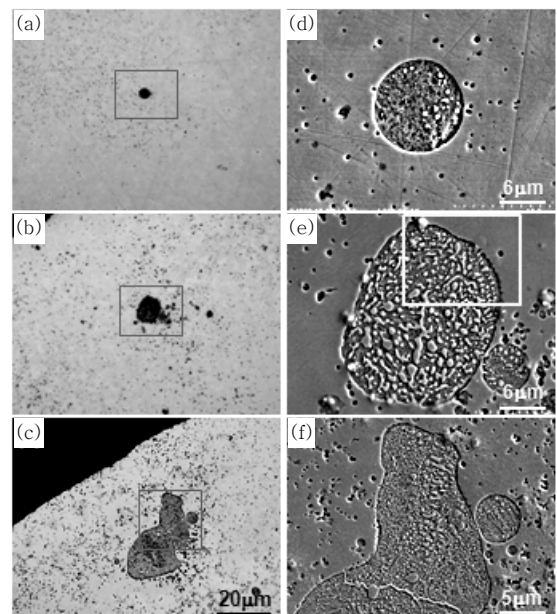


Fig. 5 Optical microstructures and SEM images of the fusion zone in brazed joints. (a)60A, (b)70A, (c)80A

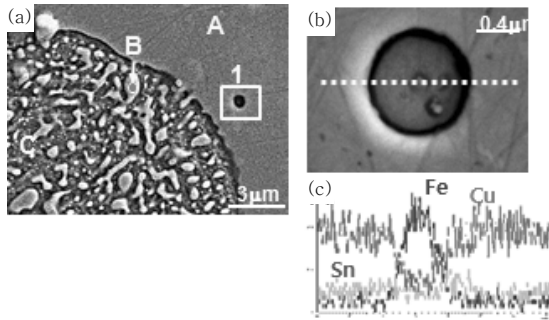


Fig. 6 (a) SEM image of zone denoted by □ in (e) of Fig. 5, (b) and (c) SEM image and line analysis by EDX of zone denoted by □ in (a)

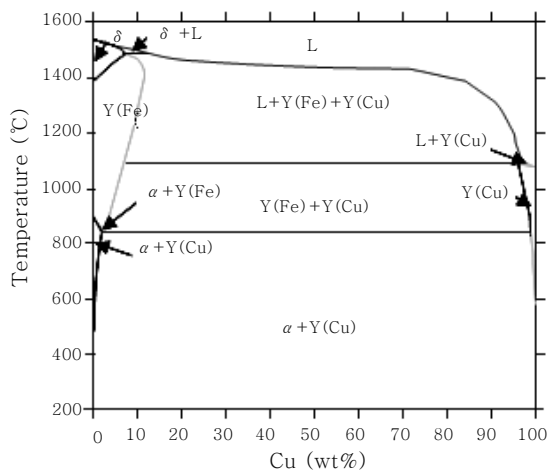


Fig. 7 Fe-Cu phase diagram by thermo calc

태도(Fig. 7)로부터 고찰하면 다음과 같다. Arc 열에 의해 모재인 DP강 일부와 Cu-Sn의 삽입금속이 용융되어 성분이 혼합되고, 이 액상에서 냉각 중에 이들 상이 형성될 것이다. Fe-Cu 2원계 상태도를 보면, 상온에서 Fe는 Cu를 또한 Cu는 Fe를 전혀 고용하지 않는다. 그러나 고온에서는 Fe에 Cu가 또한 Cu에 Fe가 다소 고용이 가능하고, 브레이징 공정은 일반 주조공정과 달리 냉각속도가 아주 빠르므로, 고온에서 Fe에 Cu 혹은 Cu에 Fe가 고용한 상태로 급랭되어 과포화 고용체인 αFe와 γCu의 혼합물로 형성되는 것으로 추측된다.

Fig. 8은 Fig. 4에서 용융부/하판(a~c) 및 상판(d~f)의 계면에 □로 표시된 영역을 확대한 광학현미경 조직을 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 9는 Fig. 8(e)의 □에 표시한 영역의 BSE 이미지(a),와 SEM조직(b), EDX로 Cu, Sn, Fe 및 Mn을 면분석한 결과((c)~(f))를 나타낸 것이다. 이들 분석 결과로부터, 계면에 형성된 상은 용융부에 조대한 상의 것과 같은 α Fe와 γCu의 혼합물인 것을 알 수 있다.

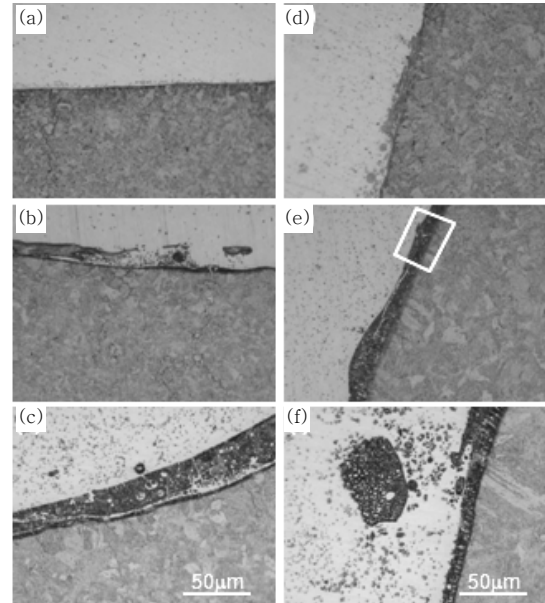


Fig. 8 Optical micro structures and SEM image at bonded interface of lower plate and upper plate. (a), (d) 60A, (b), (e) 70A, (c), (f) 80A

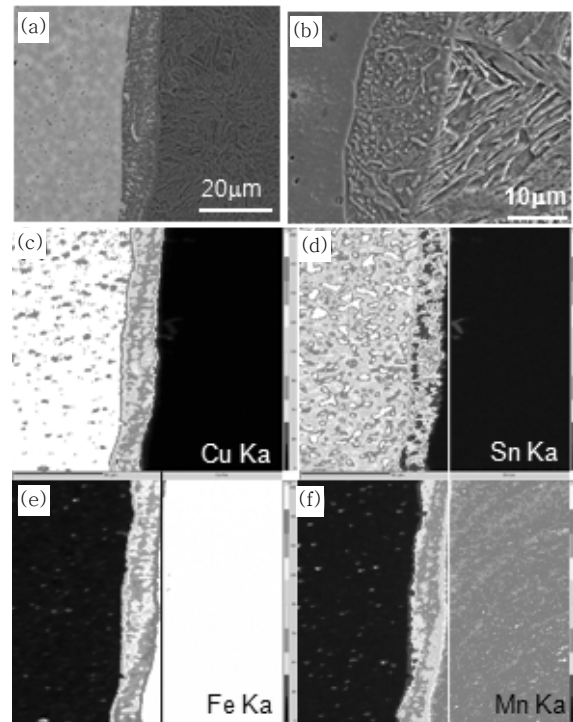


Fig. 9 BSE(a) and SEM image(b) of bonded interface and area analysis of elements by EPMA

Fig. 10은 브레이징 전류에 따른 용융부의 평균경도를 나타낸 것이다. 전류가 증가함에 따라서 용융부의 경도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 용융부는 Fig. 5에서 볼 수 있는 바와 같이 기지인 Cu₂₃Sn₂ 상과 αFe

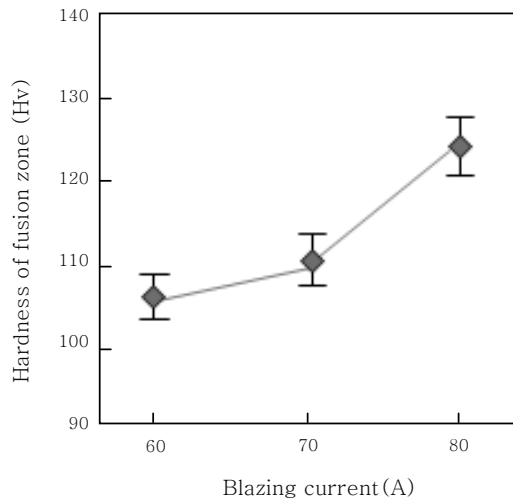


Fig. 10 Effect of brazing current on hardness of the fusion zone

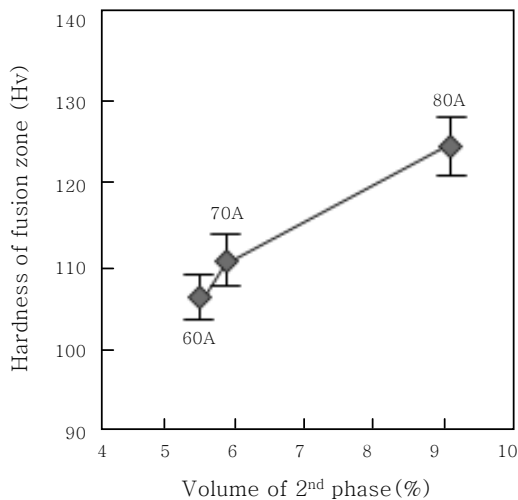


Fig. 11 Effect of brazing current on the volume fraction of mixed phases (α Fe와 γ Cu) in the fusion zone

와 γ Cu의 혼합상으로 이루어져 있으므로, 혼합상의 양과 관계가 있을 것으로 예상된다. 각 상의 경도를 측정 한 결과, Cu₂₃Sn₂ 상의 평균 경도는 104.1이었고, 혼합상은 271.9이었다.

Fig. 11은 경도가 높은 혼합상의 체적률과 경도와의 상관관계를 조사한 결과를 나타낸 것이다. 이것으로부터, 혼합상이 증가함에 따라 경도가 증가하는 경향이 있음을 알 수 있다. 이것은 입열이 높을수록 모재의 용융량이 많아져, 제2상이 많이 형성되고, 특히 전류가 가장 높은 80A에서는 Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이 하판도 많이 용융시켜, 혼합상의 양이 급격히 증가하기 때문에, 경도도 급격히 증가하는 것으로 판단된다.

3.3 인장전단 성질

Fig. 12는 브레이징 전류에 따른 인장하중을 나타낸 것이다. 여기서 접합부와 모재의 단면적이 다르고, 접합조건에 따라서도 면적이 다르므로, 응력-연신을 곡선 대신 하중-연신을 곡선을 나타내었다. 접합시편의 크기로 모재를 인장한 경우, 인장하중은 약 20kN이었다. 인장전단시험편의 파단은 접합조건과 관계없이 모두 Fig. 13과 같이 접합부에서 파단 되었다. Fig. 12에서 전류가 증가할수록, 인장하중은 증가하는 경향이 보이지만, 접합재의 인장하중은 모재의 약 26~30%에 정도의 낮은 값을 나타냄을 알 수 있다.

접합전류에 따라 접합부의 인장하중의 차이가 나는

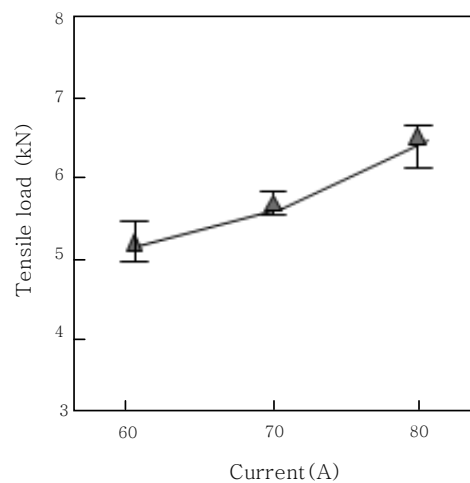


Fig. 12 Effect of brazing current on tensile load of joints

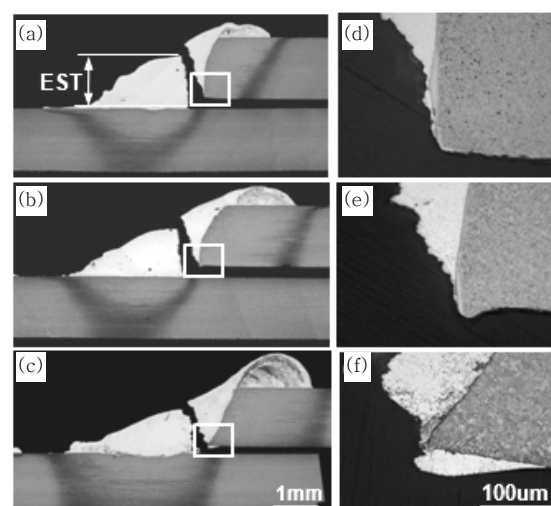


Fig. 13 Cross sections of fractured specimens((a)~(c)) and enlarged micro structures((d)~(f)) of zone denoted by □ in (a)~(c). (a), (d) : 60A, (b), (e) : 70A, (c), (f) : 80A

이유를 파악하기 위하여, 파단부 단면을 자세히 검토하였다.

Fig. 13는 전류에 따른 파단부의 단면((a)~(c))과 □로 표시된 영역을 확대한 광학 현미경 조직을 나타낸 것이다. 이 결과로부터, 접합조건과 관계없이 파단경로는 동일함을 알 수 있다. 즉 전단응력에 의한 상/하 모재의 계면에서 일어나는 계면파단이 아니라, 상부모재/하부모재/용융부와 만나는 3중점에서 균열이 발생하고, 이 균열이 용융부 안으로 전파되어 인장응력에 의해 파단되었음을 알 수 있다.

파단 분석으로부터 브레이징 전류에 따른 접합부의 하중은 용융부의 강도와 파단부 면적(A)에 의존할 것으로 생각된다. 전류에 따른 용융부의 강도를 실측하는 것은 불가능하고, 경도는 강도와 비례관계가 있다. 그래서 전류에 따른 용융부의 강도를 경도 값으로 대체하

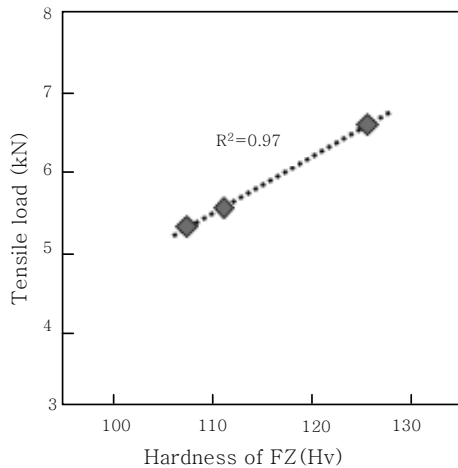


Fig. 14 Relationship between hardness of the fusion zone and tensile load of joints

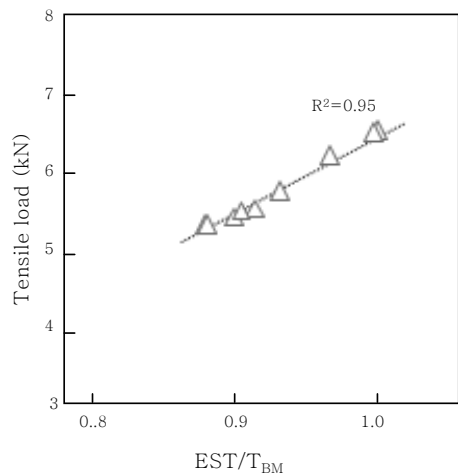


Fig. 15 Relationship between EST/BT ratio and tensile load of joints. EST: Effect sheet thickness, TBM: Thickness of base metal

여 경도와 접합재의 인장하중과의 관계를 조사하여 보았다. Fig. 14는 정리한 결과를 나타낸 것이다. 이 결과로부터 경도가 증가 할수록 인장하중이 직선적으로 증가함을 알 수 있다.

한편 파단부의 면적은 인장시편의 폭이 12.5mm로 동일하므로, 3중점에서 삽입 금속부 상부 끝단 부까지의 길이(두께)에 의해 좌우된다. Fig. 13 (a)에 나타낸 바와 같은 파단부의 길이를 유효두께(EST: Effective Sheet Thickness)로 정의하였고, 각 시편의 단면으로부터 EST를 측정하였다. 또한 파단부와 모재의 단면적을 비교하는 의미에서 모재두께(BT)에 대한 EST의 비를 구하여, EST/BT와 인장하중과의 관계를 비교하였다. 그 결과를 Fig. 15에 나타낸 것이다.

EST/BT 비가 증가할수록, 인장하중은 선형적으로 증가하고, ST/TBM 비의 값이 모두 1 이하임을 알 수 있다. 이것은 파단부의 면적이 모재의 것보다 작다는 것과, 모재인 강의 강도가 Cu합금인 용융부보다 높기 때문에, 용융부에서 당연히 파단 할 수밖에 없는 것을 의미한다.

이상의 분석결과로부터, 강도(경도)가 낮은 용융부의 두께가 모재(DP강)의 두께보다 얇아 용융부에서 파단하고, 전류가 증가할수록 용융부의 경도가 증가하고, 또한 용융부의 두께도 증가하기 때문에 강도가 증가하는 것으로 판단되었다.

4. 결 론

1000MPa급 DP강을 Cu-5.3wt%Sn 삽입금속을 사용하여, 아크 브레이징한 접합부의 기계적 성질에 미치는 브레이징 전류의 영향에 대해 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 용융부는 Cu₂₃Sn₂ 상인 기지와 αFe+γCu의 혼합상으로 이루어져 있었다. Fe와 Cu는 상온에서 서로 전혀 고용하지 않지만, 이러한 고용체가 형성되는 이유는 아크에 의해 삽입금속과 모재인 DP강의 일부가 용융되고, 반응한 후, 브레이징 공정이 주조보다 빠른 냉각속도로 냉각되므로 상온에서 과포화로 고용하기 때문이다.
- 2) 용융부의 경도는 용접전류가 높을수록 모재의 용융 양이 증가하여, 기지(104.1HV)보다 경도가 높은 혼합상(αFe+γCu). 271.9HV)의 체적률이 증가하기 때문이다.
- 3) 브레이징한 시편을 인장전단시험 한 결과, 모두 용융부에서 파단 되었고, 브레이징 전류가 증가할수록, 접합재의 인장하중은 증가하는 경향이 보였지만, 모재의 약 26~30% 정도로 아주 낮았다.

4) 파단면을 분석한 결과, 상부모재/하부모재/용융부와 만나는 3중점에서 균열이 발생하고, 이 균열이 용융부 안으로 전파되어 인장응력에 의해 파단 되었다. 용융부에서 파단하는 이유는 브레이징 용융부의 경도(강도)가 모재인 강과 비교하여 아주 낮고, 또한 3중점에서 용융부의 두께가 모재의 두께보다 얇기 때문인 것으로 확인되었다

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. Y. Sakuma, O. Matsumura and H. Takechi : Metall. Mater. Trans. A, 22A, 1991, 489
2. D. B. Im, C. G. Lee, S. J. Kim and I. M. Park : J. Kor. InsTR1000 of Met. & Mater., 38(2000), 3
3. QYOU.X, JIANG.Z, LI.H, "Ultra-Pure Ferritic Stainless Steels-Grade, Refining, Operation, and Application", Journal of Iron and Steel Research, International, 14-4(2007), 24
4. J.K.Kim, Y.H.Kim, S.H.Uhm, J.S.Lee, K.Y.Kim, "Intergranular corrosion of Ti-stabilized 11wt% Cr ferritic stainless steel for automotive exhaust systems", Corrosion Science (2009), 2716
5. E. Taban, E. Deleu, A. Dhooge, E. Kaluc, "Laser welding of modified 12% Cr stainless steel : Strength, fatigue, toughness, microstructure and corrosion properties", Materials and Design (2009), 1193
6. 대한용접·접합학회 "용접·접합편람", Vol.3, pp.172, 2007
7. C. Chovet, S. Guiheux, "Possibilities offered by MIG and TIG brazing of galvanized ultra high strength steels for automotive applications", la metallurgia Itallana, Vol. 7(2006), 47-54
8. D. Iordachescu, L. Quintino, R. Miranda, G. Pimenta, "Influence of shielding gases and process parameters on metal transfer and bead shape in MIG brazed joints of the thin zinc coated steel plates", Materials and Design, Vol. 27(2006), 381-390
9. D. Iordachescu, L. Quintino, R. Miranda, G. Pimenta, Materials and Design 27, 2006
10. A.S. GUIMARAES, M.T. MENDES, H.R.M. COSTA, N.K. KUROMOTO, Welding International, 2007
11. LI Li-qun, FENG Xiao-song, CHEN Yan-bin, Transaction of Nonferrous Metals society of China 18, 2008
12. H.T. Zhang a, J.C. Feng, P. He, H. Hackl, Materials Characterization 58, 2007
13. M.B. Kim, S.J. Kim, B.K. Lee, X.Yuan, B.H. Yoon, I.S. Woo and C.Y. Kang, Kor. J. Met. Mater., 48-4(2010)
14. J.Viňáš, Ľ. Kaščák, M. Ábel, D. Draganovská and M. Gatial, Lebanese Science Journal, 11-2(2010)
15. A. Joseph, C. Webb, M. Haramia, and D. Yapp, 56th IIW International Conference, Bucharest, Romania, 2003