

# 순 Ti GTA 용접부의 미세조직과 경도에 미치는 Ar-N<sub>2</sub> 보호가스 중 질소량의 영향

안현준\* · 전애정\* · 홍재근\*\* · 정보영\*\*\* · 이종섭\*\*\* · 강정윤\*†

\*부산대학교 하이브리드소재솔루션 국가핵심연구센터

\*\*한국기계연구원 부설 재료연구소

\*\*\*POSCO 기술연구소

## Effect of Nitrogen Volume in Ar-N<sub>2</sub> Shielding Gas on Microstructure and Hardness of GTA Welded Pure Ti

Hyun-Jun An\*, Ae-Jeong Jeon\*, Jae-Keun Hong\*\*, Bo-Young Jeong\*\*\*,  
Jong-Sub Lee\*\*\* and Chung-Yun Kang\*†

\*National Core Research Center (NCRC), Pusan National University, Pusan 609-390, Korea

\*\*Korea Institute of materials Science, Changwon 642-831, Korea

\*\*\*Technical Research Laboratories, POSCO, Pohang 790-785, Korea

†Corresponding author : kangcy@pusan.ac.kr

(Received April 16, 2012 ; Revised April 23, 2012 ; Accepted April 27, 2012)

### Abstract

In this study, effect of nitrogen volume in the shielding gas of Ar-N<sub>2</sub> mixing gas on the bead shape, hardness and microstructure of GTA welds of 3mm thick Commercial Pure Ti was investigated. As the nitrogen volume increased, the welding current for full penetration was reduced and hardness in the fusion zone significantly increased compared with that of the base metal, but there is no difference in the hardness of HAZ. Microstructure in the fusion zone with pure Ar gas changed from equiaxed alpha of the base metal to serrated alpha. On the other hand, microstructure using Ar-N<sub>2</sub> mixing gas changed to acicular alpha. With the increasing of nitrogen content, the amount of acicular alpha increased and the size of that was fine.

Key Words : CP Ti, GTAW, Shielding gas, Ar-N<sub>2</sub> mixing gas, Microstructure, Hardness

### 1. 서 론

최근에 들어 산업 환경이 열악해지고 항공우주산업에 대한 관심이 증대됨에 따라 적절한 재료 선택이 요구되고 있다. 이러한 요구에 부응하는 재료로서 Ti 및 Ti 합금에 대한 이용이 증가하고 있다. Ti 및 Ti합금은 저탄성계수, 우수한 고온 크리프특성과 비강도가 높고 상온에서 안정한 산화피막이 생성되어 우수한 내식성을 가지고 있기 때문에 항공기부품, 각종 화학 플랜트 및 해수담수화 장치 등을 중심으로 이용량이 증가하고 있

다<sup>1)</sup>. 이와 더불어 Ti 및 Ti 합금을 부품 및 구조물로 제조하기 위해서는 고품질 용접기술의 확보가 필수적이다. 기존의 용접방법으로는 GTAW(Gas Tungsten Arc Welding), GMAW(Gas Metal Arc Welding), 저항용접 등과 더불어 저입열 고품위 용접법인 전자빔, 레이저용접에 이르기 까지 다양한 용접법이 적용되고 있다<sup>2,3)</sup>. 그 중에서 가장 일반적인 용접공정은 GTAW이다. GTAW는 수동 및 자동용접이 가능하다는 것과 고품질의 용접부를 얻을 수 있는 것, 스패터가 적다는 장점이 있으나 생산성이 낮고 전극이 용융지에 닿을 경우 텅스텐 개재물이 생성될 수 있다는 단점이 있다<sup>4)</sup>.

Ti의 경우 600℃ 이상의 고온에서는 산소, 질소, 수소 등과 쉽게 반응하여 내식성과 기계적 성질이 모두 저하되므로 용접부를 보호하는 것이 가장 중요하다<sup>5)</sup>. 용접부를 보호하기 위한 방법으로는 진공이나 불활성 분위기하의 용기 속에서 용접하고 용착부와 열영향부도 상온까지 냉각되는 동안 대기로부터 차단시킨다<sup>6)</sup>. 지금까지 보고된 자료들은 Ti 합금 또는 Ti와 이종금속과의 용접에 대한 것들이 대부분이었다. 특히 Pure Ti (ASTM grade 2)에 대한 GTAW 용접성에 대한 자료는 찾아보기 힘들고 대부분 오래된 자료들이다.

본 연구에서는 소재 및 파이프라인 등의 부품 제조에 적용하는 고온 인라인(in-line) 용접 시 적정 보호가스 종류와 유량을 선정하는 것을 목적으로 수행되었으며, 본 연구논문에서는 보호가스로서 Ar-N<sub>2</sub> 혼합가스를 사용한 경우, 질소가스 첨가량에 따른 용입특성, 용접부의 미세조직과 경도와의 상관관계를 규명하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 사용재료 및 실험방법

본 연구에서 사용한 Ti은 두께 3mm의 열연판재로서, 불순물이 거의 함유되어 있지 않은 ASTM grade 2의 순 Ti이고, 그 화학조성은 Table 1에 나타낸다. GTA 용접은 최대 용접전류 350A급의 DC 용접기를 사용하였으며, 맞대기(butt) 용접으로 실시하였다. 용접조건은 텅스텐 전극 직경 3.2mm, 전극 선단각 60°, 아크 길이 2.0mm로 하였다. 용접부를 외부로부터 보호하기 위해 토치에서 1차, 2차 보호가스로 보호하고, 또한 백업 보호가스로도 보호하였다. 그 중 질소의 함유량에 따른 용접부의 특성을 파악하기 위해 1차 보호가스만 Ar 가스 내에 질소 함유량을 3~15%(20 l/min)로 변경하고 2차와 백업은 각각 Ar40 l/min와 10 l/min로 고정하였다. 용접속도는 0.22m/min로 고정하고, 용접전류는 200A~250A로 변화시켜 용접하여, 각 보호가스에 따른 완전용입을 얻기 위한 용접 전류를 조사하였다.

미세조직은 연마 후 Kroll's (H<sub>2</sub>O 100ml + HF 3ml + HNO<sub>3</sub> 5ml)용액으로 부식하고, 광학현미경, SEM 및 TEM으로 관찰하였다. 성분분석은 EDX와 EPMA를 사용하여 분석하였고, 용융부 내의 질소함유량을 Nitrogen-Oxygen Determinator을 이용하여 정량

**Table 1** Chemical composition of pure Ti (wt%)

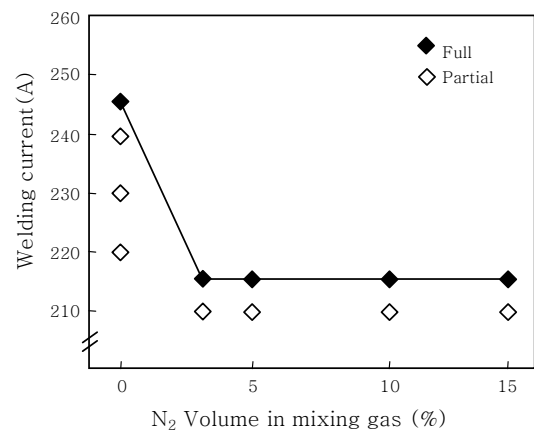
H	C	N	O	Fe	Ti
0.014	0.1	0.015	0.11	0.3	Bal.

분석하였다. 경도는 마이크로비커스 경도기를 사용하여 하중 300g, 유지시간 10초로 측정하였다.

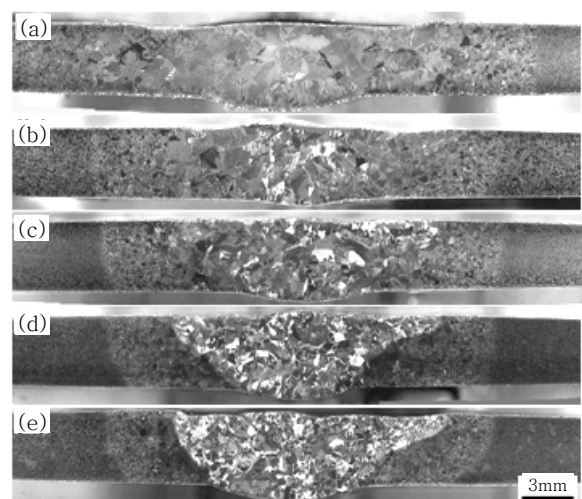
## 3. 실험 결과

### 3.1 혼합가스 내에 질소량에 따른 용입 현상

Fig. 1은 보호가스로서 Ar-N<sub>2</sub> 혼합가스 사용한 경우, 질소가스 첨가량에 따른 완전용입을 얻기 위한 전류를 나타낸 것이다. Fig. 2은 완전용입이 일어나는 전류에서 용접한 시편의 단면 비드형상을 나타낸 것이다. 여기서 용접속도(0.22m/min)와 보호가스 유량(40 l/min)은 일정하게 하였다. Fig. 1로부터, 순수



**Fig. 1** Relationship among penetration, welding current and N<sub>2</sub> volume percentage in Ar-N<sub>2</sub> mixing gas



**Fig. 2** Cross sections of bead with N<sub>2</sub> volume percentage in Ar-N<sub>2</sub> mixing gas. (a) pure Ar, (b) Ar-3%N<sub>2</sub>, (c) Ar-5%N<sub>2</sub>, (d) Ar-10%N<sub>2</sub>, (e) Ar-15%N<sub>2</sub>

Ar을 사용하여 용접할 때는 245A에서 완전용입이 되지만, 질소가스가 3-15%첨가되면 더 낮은 전류 215A에서 완전용입이 일어남을 알 수 있다. 또한 Fig. 2에서 혼합가스 내 질소가스 첨가량에 따른 비드형상을 비교하면, 질소 첨가량이 증가할수록 용융량(용융면적)이 증가하는 경향이 있음을 볼 수 있다.

Shanping Lu 등<sup>7)</sup>은 보호가스로서 Ar과 N<sub>2</sub>가스를 사용하여 GTA 용접한 경우에 아크성질을 시뮬레이션하여 비교한 결과, Ar보다 높은 비열을 가진 질소를 보호가스로 용접하면, 아크플라즈마 집중성이 높아, 시료 표면에서 피크열플럭스(peak heat flux)와 전류밀도가 상승하기 때문에 용융량을 증가시킨다고 보고하고 있다. 이러한 이유로 순수 Ar가스를 사용한 것보다 질소가스를 첨가한 것이 낮은 전류에서 완전용입을 얻을 수 있고, 또한 질소가스 첨가량이 증가할수록 용융량이 증가하는 것으로 생각된다.

### 3.2 혼합가스 내에 질소량에 따른 용접부의 미세조직 변화

Fig. 3은 모재 CP Ti의 광학현미경조직과 SEM조직을 나타낸 것이고, Fig. 4와 Fig. 5는 질소가스 첨

가량에 따른 각각 용융부와 HAZ의 대표적인 광학현미경조직과 SEM조직을 나타낸 것이다. 미세조직은 비드의 중앙(두께의 1/2 지점)에서 관찰하였다.

Fig. 3과 Fig. 4를 비교하여 보면, 용융부의 미세조직은 다각형 조직을 가진 모재의 조직과는 다른 형상을 하고 있다. 즉 순수 Ar가스만을 사용한 용융부는 입계가 지그재그 형상을 하고 있고, 혼합가스를 사용한 것은 침상조직으로 되어 있다. 질소가스 첨가량이 증가할수록 침상 조직의 양이 증가하고, 더욱 치밀한 조직임을 알 수 있다. 한편 HAZ의 미세조직은 Fig. 5로부터 알 수 있는 바와 같이 모재조직과 달리 지그재그 입계를 갖는 결정립으로 되어 있고, 질소가스를 첨가한 것도 침상조직이 보이지 않으며, 질소가스 첨가량에 따른

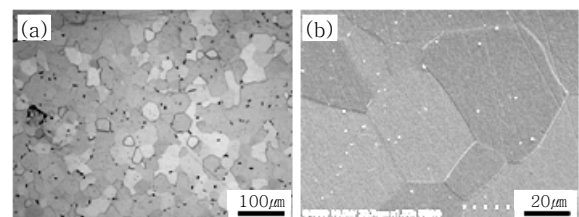


Fig. 3 Optical microstructure(a) and SEM structure (b) of CP Ti

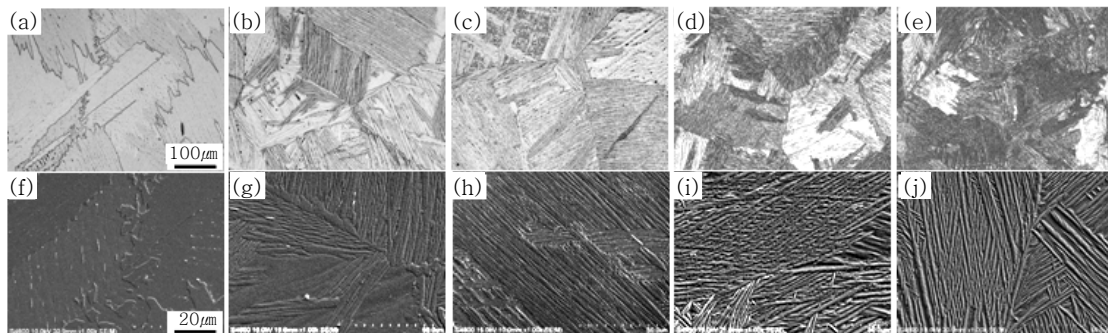


Fig. 4 Optical microstructure(a-e) and SEM structure(f-j) in the fusion zone with N<sub>2</sub> volume percentage in Ar-N<sub>2</sub> mixing gas. (a),(f) pure Ar, (b),(g) Ar-3%N<sub>2</sub>, (c),(h) Ar-5%N<sub>2</sub>, (d),(i) Ar-10%N<sub>2</sub>, (e), (j) Ar-15%N<sub>2</sub>

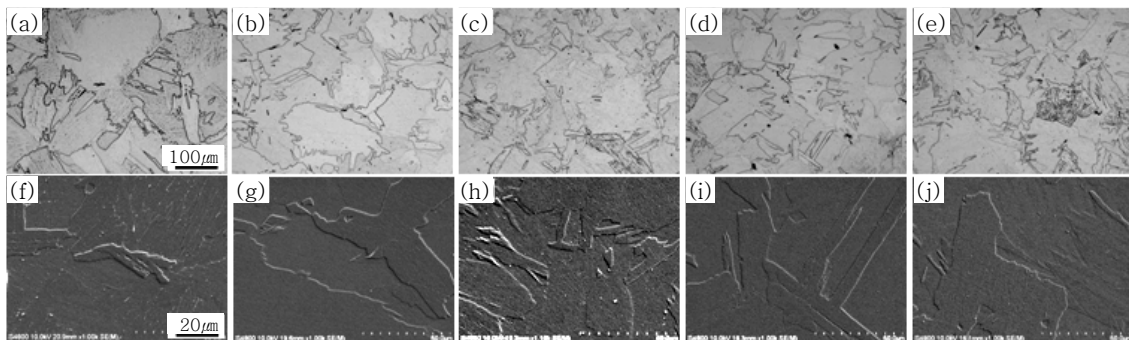


Fig. 5 Optical microstructure(a-e) and SEM structure(f-j) in HAZ with N<sub>2</sub> volume percentage in Ar-N<sub>2</sub> mixing gas. (a),(f) pure Ar, (b),(g) Ar-3%N<sub>2</sub>, (c),(h) Ar-5%N<sub>2</sub>, (d),(i) Ar-10%N<sub>2</sub>, (e), (j) Ar-15%N<sub>2</sub>

미세조직의 차이는 거의 없는 것으로 판단된다. 특히 이러한 용융부의 미세조직의 변화는 용접 시 유입된 질소와 용융금속과의 반응에 의한 것으로 예상된다.

Fig. 6은 Ar-10%N<sub>2</sub>의 보호가스로 용접한 용융부의 TEM조직(a), 확대한 TEM조직(b), (a)에서 □로 표시된 영역에서 얻어진 X선회절 패턴(c)과 그 해석(d) 결과를 나타낸 것이다. (b)로부터 줄무늬로 보이는 상은 전위가 밀집된 곳이고, X선 회절분석으로부터, 기지 조직은 HCP 구조를 가진 α-Ti임을 알 수 있다.

또한 침상조직이 질소농도 차이에 의해서 형성된 것인지를 알기 위하여 EPMA로 질소농도를 조사하여 보았다. Fig. 7은 Ar-10%N<sub>2</sub> 보호가스로 용접한 용융부의 조직(a)과 이에 대응하는 Ti(b)와 N(c)에 대한 EPMA 면분석 결과를 나타낸 것이다. 이 분석결과에서 침상조직의 형태와 Ti의 농도 분포 형태는 뚜렷한 관계를 보이질 않으나 질소의 농도 분포 형태와 일치하는 것으로부터, 침상조직의 생성은 질소 농도 차에 의해 형성된 것으로 생각된다.

Fig. 8은 혼합가스 내에 질소가스 첨가량에 따른 용융부 내의 질소함유량을 나타낸 것이다. 이상의 결과로부터 질소량이 증가할수록, 용융부 내에 질소의 함유량이 증가하지만, 질소가스가 가장 많이 첨가된 Ar-15%N<sub>2</sub> 보호가스에서도 약 0.75wt%정도이다.

Fig. 9는 Ti-N의 2원계 상태도<sup>8)</sup>를 나타낸 것이다. Fig. 8에서 Ar-15%N<sub>2</sub> 보호가스를 사용한 용융부의 질소농도가 약 0.75wt% 정도이므로, 본 실험에 사용한 혼합가스 범위 내에서 용융부의 미세조직은 상태도에서 알 수 있는 바와 같이 질화물이 형성되지 않고, 보호가스로부터 유입된 질소는 모두 고용하여 α고용체

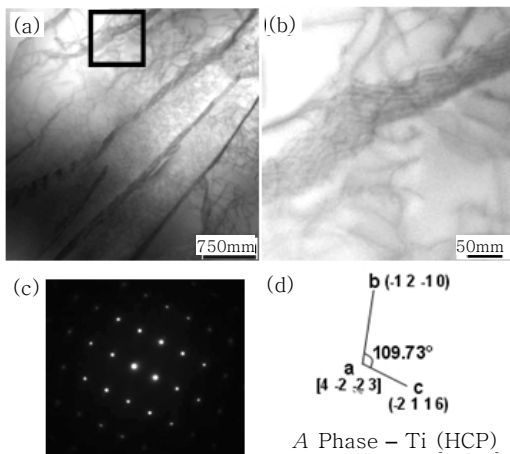


Fig. 6 TEM structures(a) in the fusion zone of weld using Ar-10%N<sub>2</sub> gas, (b) TEM structure enlarged in the zone denoted by □ in (a), (c) and (d) diffraction pattern at selected area(□) in (a), and its

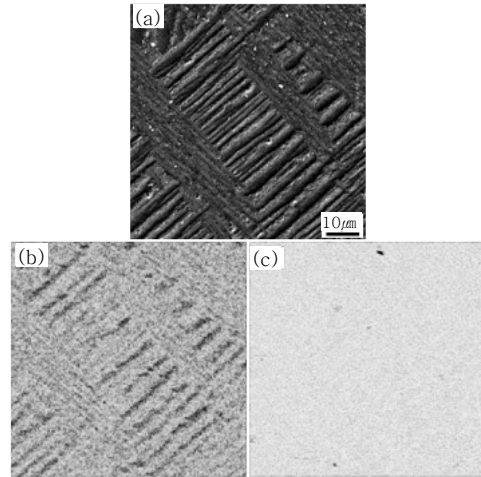


Fig. 7 SEM structures(a) in the fusion zone of weld using Ar-10%N<sub>2</sub> mixing gas, (b) and (c) results of area analysis for N(b) and Ti(c) element by EPMA

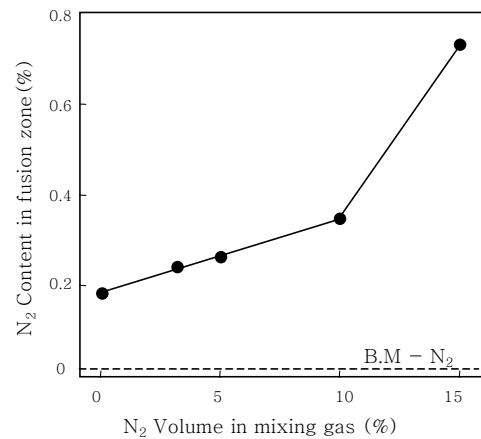


Fig. 8 N<sub>2</sub> content in the fusion zone of weld using various Ar-N<sub>2</sub> mixing gas

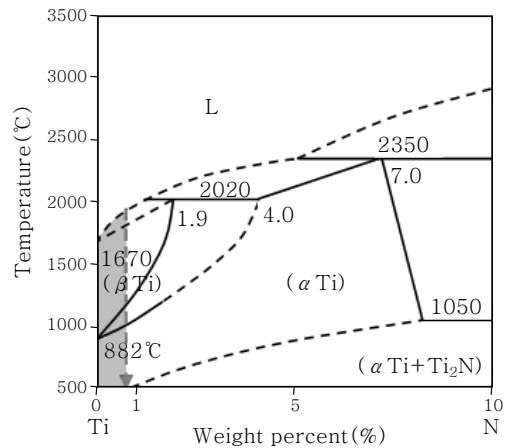
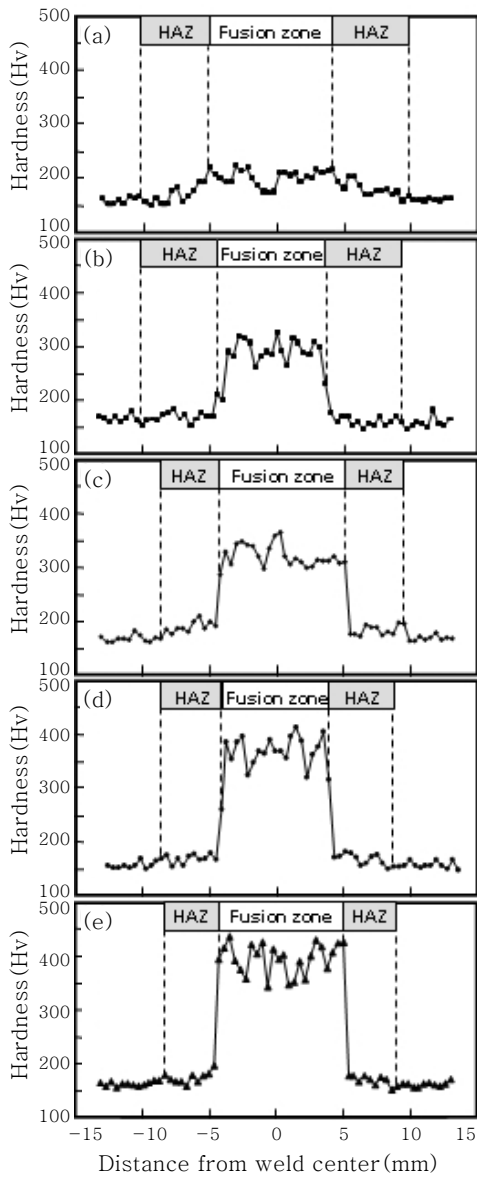


Fig. 9 Ti-N binary phase diagram

를 형성함을 알 수 있다.

### 3.3 혼합가스 내에 질소량에 따른 용접부의 경도 변화

Fig. 10은 보호가스 중에 질소량의 변화에 따른 용접부 근방의 경도변화를 나타낸 것이다. 경도는 미세조직 관찰과 같이 비드의 중앙(두께의 1/2 지점)에서 측정하였다. 모든 조건에서 경도분포는 용융부의 경도가 가장 높고, 용융부 내의 부위에 따라서도 경도의 편차가 큰 것이 특징이다. 또한 HAZ의 경도는 모재보다 근소하게 높고, 질소가스 첨가량에 따라 경도 변화의 차

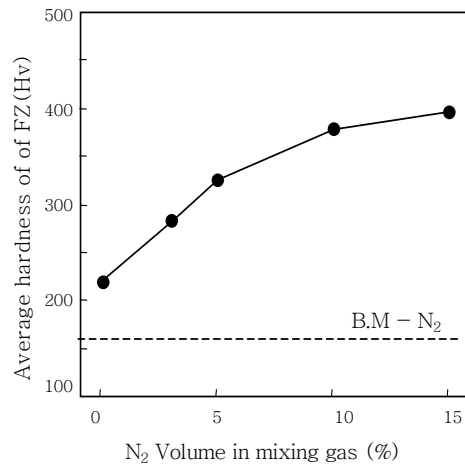


**Fig. 10** Hardness profiles near the weld. (a) pure Ar, (b) Ar-3%N<sub>2</sub>, (c) Ar-5%N<sub>2</sub>, (d) Ar-10%N<sub>2</sub>, (e) Ar-15%N<sub>2</sub>

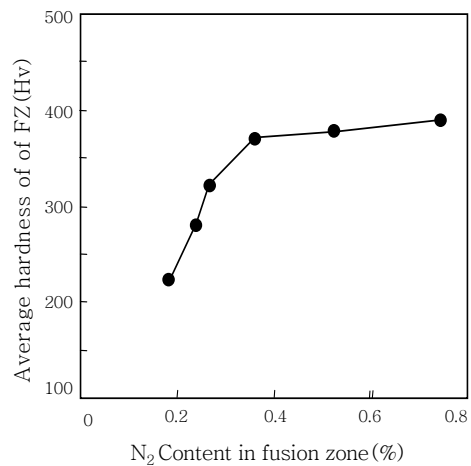
가 거의 없다.

Fig. 11은 보호가스 중에 질소량의 변화에 따른 용융부의 평균경도 변화를 나타낸 것으로, 경도는 질소가스량의 증가에 따라 증가하는 경향이 있음을 볼 수 있다. 또한 Fig. 12는 용융부 내의 실제 질소함유량(고용량, Fig. 8)과 경도와의 상관관계를 나타낸 것이다. 용융부 내에 질소함유량이 증가함에 따라 경도가 증가하는 것을 알 수 있다.

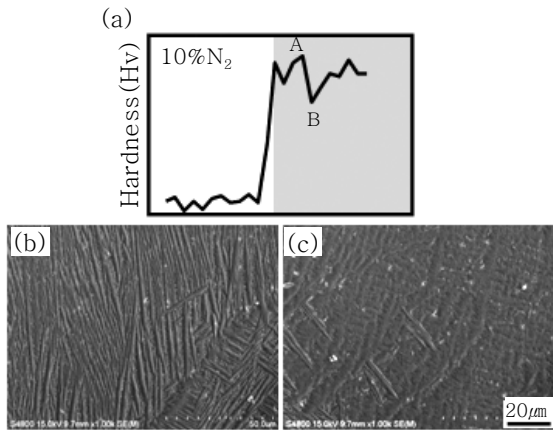
질소함유량 변화에 따른 용융부의 경도(Fig. 10)와 미세조직(Fig. 4)과의 상관관계를 검토하여 보면, 질소함유량이 증가할수록 침상조직이 증가하고, 치밀해지고, 경도도 증가하는 경향이 있음을 알 수 있다. 또한 일정 혼합가스로 용접한 용융부라도 부위에 따라 경도 편차가 크게 나는 이유를 파악하기 위하여 용융부의 미세조직을 비교하였다. Fig. 13은 그 결과를 나타낸 것이다.



**Fig. 11** Average hardness in the fusion zone with N<sub>2</sub> volume percentage in Ar-N<sub>2</sub> mixing gas



**Fig. 12** Relationship between average hardness and N<sub>2</sub> content(wt%) in the fusion zone



**Fig. 13** Relationship between hardness and microstructure in the fusion zone using Ar-10%N<sub>2</sub> mixing gas. (a) Hardness profile, (b) and (c) microstructure in the area denoted by A and B in (a)

경도분포를 나타낸 (a)에서 경도가 높은 A(b)와 낮은 B(c)의 미세조직을 비교하면, 경도가 높은 영역의 침상조직이 보다 치밀한 조직임을 알 수 있다.

Clark 등<sup>9)</sup>은 Ti의 결정구조에 미치는 질소와 산소의 영향을 X-ray로 측정한 연구결과로부터, 이들 원소가 고용되면, HCP에서 c축의 비가 함유량과 비례하여 증가하고, 질소 함유량이 0.1~0.5at% 첨가되면 c축의 변형스트레인이 약 0.01~0.07%가 생기는 것으로 보고하고 있다. 결국 용융금속 내에 질소 함유량이 증가하면, HCP 결정구조를 갖는 α고용체의 c축이 증가하고, 이로 인하여 격자변형량이 증가됨으로써, 미세조직도 치밀해지며, 경도도 증가하는 것으로 생각된다.

전술한 용융부 부위에 따라 미세조직의 차이에 의해 경도 편차가 생기는 이유는 용융과 응고 도중에 질소의 편석 현상에 의해 일어난 것으로 추측된다.

#### 4. 결 론

1) 보호가스로서 Ar-N<sub>2</sub> 혼합가스 사용하여 용접하면 순 Ar을 사용한 경우보다 낮은 용접전류에서 완전용입을 얻을 수 있었다. 또한 혼합가스에 질소량이 증가할수록 용입깊이 및 용융량이 증가하였다.

2) 모재조직은 전형적인 다각형 조직이었고, 순 Ar만을 사용한 용융부는 입계가 지그재그 형상을 하였고, 혼합가스를 사용한 것은 α고용체(결정구조: HCP)인 침상조직이었으며, 질소 첨가량이 증가할수록 침상조직의 양이 증가하고 치밀하였다. 침상조직을 EPMA로 분석한 결과 질소의 농도 차가 있었다.

3) 15%N<sub>2</sub> 혼합가스를 사용하더라도 용융부의 질소 농도가 약 0.7wt% 정도이어서 질화물이 형성되지 않는 것으로 Ti-N 상태도로부터 확인되었다.

4) 모든 보호가스에서 용융부의 경도가 가장 높았고, 용융부 내의 경도분포는 부위에 따라 편차가 컸다. 질소첨가량이 증가할수록 용융부의 평균경도가 증가하였다. 이것은 혼합가스의 질소량이 증가할수록 용융부의 질소고용도가 증가하고, 침상조직이 치밀하게 형성되어 경도가 증가하는 것으로 생각되었다. 한편 HAZ의 경도는 모재보다 근소하게 높고, 질소함유량에 따른 경도 변화 차는 거의 없는 것으로부터, HAZ는 질소의 영향을 거의 받지 않았다고 생각되었다.

#### 참 고 문 헌

1. W. A. Baeslack III, J. R. Davis and C. E. Cross : Selection and Weldability of Conventional Titanium Alloys, in: ASM Handbook, **6**, Welding, Brazing and Soldering, Materials(9th Ed.), ASM International, Metals Park, OH, USA, 1993, 507 - 508
2. W. S. Chang, M. Y. Lee and B. H. Yoon : High Current Keyhole GTAW for Stainless Steels and Ti Alloys, Journal of KWS, **22-6** (2004), 6-9 (in Korean)
3. S. Lathabai, B. L. Jarvis and K. J. Barton : Comparison of Keyhole and Conventional Gas Tungsten Arc Welds in Commercially Pure Titanium, Materials Science and Engineering A, **A299** (2001), 81-93
4. B. H. Yoon, S. H. Kim and W. S. Chang : Recent Trends of Welding Technology for Ti and Ti Alloys, Journal of KWJS, **25-5** (2007), 22-28 (in Korean)
5. W. A. Baeslack III, J. M. Gerken, C. Cross, J. Hanson, P. S. Liu, J. C. Monson, J. Schley and L. Showalter : Titanium and Titanium Alloys, in: J.M. Gerken (Ed.), Welding Handbook, **4**, 8th ed., American Welding Society, Miami, Florida, USA, 1998, 488
6. D. R. Mitohell and N. G. Feige : Welding of Alpha-beta Titanium Alloys in One-inch Plate, Welding Journal, **46-5** (1967), 193
7. Shanping Lu, et al : Numerical study and comparisons of gas tungsten arc properties between argon and nitrogen, Computational Materials Science, **45** (2009), 327-335
8. H. A. Wriedt and J. L. Murray : The N-Ti system, Bulletin of alloy Phase Diagrams, **8** (1987), 378
9. H. T. Clark : The Lattice Parameters of High Purity Alpha Titanium; The Effects of Oxygen and Nitrogen on Them, Trans. AIME, **185**, 1949, 588-589