



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2014년 2월
석사학위 논문

ATOS 80 용접재의 기계적 특성에 관한 연구

조선대학교 대학원

기계공학과

염상헌

2014년 2월

석사학위 논문

ATOS 80

용접재의

기계적

특성에

관한

연구

염

상

헌

ATOS 80 용접재의 기계적 특성에 관한 연구

A Study on the Mechanical Properties
of ATOS 80 Welding Material

2014년 2월 25일

조선대학교 대학원

기계공학과

염 상 헌

ATOS 80 용접재의 기계적 특성에 관한 연구

지도교수 최 병 기

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2013년 10월

조선대학교 대학원

기 계 공 학 과

염 상 헌

염상헌의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 한길영 (인)

위 원 조선대학교 교수 윤성운 (인)

위 원 조선대학교 교수 최병기 (인)

2013년 11월

조선대학교 대학원

목 차

Nomenclatures	i
List of Figures	ii
List of Tables	iii
ABSTRACT	iv
제1장 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적	3
제2장 관련이론	4
2.1 ATOS 고장력강	4
2.2 인장시험	6
2.3 비커스경도시험	10
2.4 샤르피 충격시험	13
제3장 시험편 및 실험방법	14
3.1 시험편	14
3.2 실험방법	27

제4장 실험결과 및 고찰	31
4.1 용접조건에 따른 용접부의 인장강도 특성	31
4.1.1 용접부의 패스 수에 따른 인장강도	31
4.1.2 용접부의 보호가스량에 따른 인장강도	33
4.2 용접조건에 따른 용접부의 비커스경도 특성	35
4.2.1 용접부의 패스 수에 따른 비커스경도	35
4.2.2 용접부의 보호가스량에 따른 비커스경도	38
4.3 용접조건에 따른 용접부의 충격치 특성	42
4.3.1 용접부의 패스 수에 따른 충격치	43
4.3.2 용접부의 보호가스량에 따른 충격치	44
제5장 결 론	45
참고문헌	46

Nomenclatures

α	:	Hammer surface angle
β	:	Lifting angle after that fracture
d	:	Diagonal of indentation
E	:	Charpy absorbed energy
g	:	Acceleration of gravity
Hv	:	Vickers hardness number
P	:	Applied load
A	:	Contact area
R	:	Radius of pendulum
θ	:	Angle between opposite faces of diamond pyramid
σ	:	Normal stress
ε	:	Longitudinal strain in speed of deformation
W	:	Hammer weight

List of Figures

Fig. 2-1. Diffuse necking and localized necking occur to the flake specimen.....	7
Fig. 2-2. Geometric type of necking part(a) and apply stress to point(b).....	7
Fig. 2-3. Vickers hardness testing in the surface area of indentation.....	11
Fig. 3-1. Unconstraint welding joint shape of specimens.....	17
Fig. 3-2. Constraint welding joint shape of specimens.....	17
Fig. 3-3. Geometry for the extraction of specimens.....	19
Fig. 3-4. Location for the extraction of specimens.....	19
Fig. 3-5. Shape for the extraction of specimens.....	20
Fig. 3-6. Geometry of tensile test specimens.....	20
Fig. 3-7. Geometry of impact test specimens.....	21
Fig. 3-8. Geometry of hardness and welding structures in specimens.....	21
Fig. 3-9. A setup of GMAW equipment	26
Fig. 3-10. After fine grinding of tensile test specimens	28
Fig. 3-11. After tensile test of specimens.....	28
Fig. 3-12. After fine grinding of hardness test specimens	29
Fig. 4-1. Result of tensile strength according to number of welding pass.....	34
Fig. 4-2. Result of elongation according to number of welding pass.....	34
Fig. 4-3. Result of tensile strength according to shielding gas amount.....	36
Fig. 4-4. Result of elongation according to shielding gas amount.....	36
Fig. 4-5. Hardness distribution in welding according to welding pass the number of times in unconstraint welding.....	38
Fig. 4-6. Hardness distribution in welding according to welding pass the number of times in constraint welding.....	39
Fig. 4-7. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding shielding in unconstraint welding.....	41
Fig. 4-8. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding shielding in constraint welding.....	42
Fig. 4-9. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding shielding.....	43
Fig. 4-10. Results of impact test according to number of welding pass.....	46
Fig. 4-11. Results of impact test according to amounts of shielding gas.....	47

List of Tables

Table 2-1. Chemical component of ATOS.....	5
Table 2-2. Mechanical properties of ATOS high tensile strength steel.....	5
Table 2-3. Spectrum of strain ratio.....	9
Table 3-1. Chemical compositions of ATOS 80 high tensile strength steel(Wt.%)	15
Table 3-2. Mechanical properties of ATOS 80 high tensile strength steel.....	15
Table 3-3. Welding condition in number of welding passes.....	23
Table 3-4. Welding conditions in shielding gas amounts.....	24
Table 3-5. Chemical compositions of E110T1-K3C welded wire(Wt.%).....	25
Table 3-6. Mechanical properties of E110T1-K3C welded wire.....	25
Table 4-1. Size of welding in number of welding passes.....	37
Table 4-2. Welding size in shielding gas amounts.....	40
Table 4-3. Charpy impact test result value of ATOS 80 high tensile steel weldment	45

ABSTRACT

A Study on the Mechanical Properties of ATOS 80 Welding Material

Youm, Sang-Heon

Advisor : Prof. Choi, Byung-Ky, Ph.D.

Department of Mechanical Engineering

Gradue School of Chosun University

In this study, mechanical properties were investigated and compared such as tensile strength test, hardness test and impact test in ATOS 80 high-strength steel with welded specimens using a flux-cored arc welding in accordance with welding conditions. The results were obtained as follows;

1. In the welding conditions, similar tensile strengths show for both 4-pass and 5-pass methods under unconstrained conditions; however, the tensile strength in 4-pass is much higher than that in 5-pass way under constrained conditions due to less heat-affected area. Also, it was found that amount of protective gas showed similar values such as 15 ℓ /m and 20 ℓ /m and it was thought that both 4-pass and 5-pass methods are considered as appropriate welding conditions.

2. It was found that the stable hardness in amount of 15 ℓ /m shielding gas could be obtained more than amount of 20 ℓ /m shielding gas.

3. Under unconstrained welding conditions, the highest impact value appears at amount of 20 ℓ /m shielding gas with the 4-pass method; however, under constrained welding conditions, the lowest impact value show at amount of 20 ℓ /m shielding gas with the 5-pass method because the welding area was vulnerable from the turbulence phenomenon.

4. Through tensile test, Vickers hardness test and the Charpy impact test results, the mechanical properties in the ATOS high strength steel were investigated and the properties could have slightly different value under working environment. It was thought that the welding method at amount of 20 ℓ /m shielding gas with the 4-pass method could be considered as most optimal ways under unconstrained welding conditions.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

용접기술은 국가 기간산업을 지탱하는 중요한 산업 기반 기술로서, 용접기술이 발전함에 따라 산업전반적으로 많은 변화를 가져왔다. 제품을 제작하거나 생산하는 방법도 다양하게 개발되었고, 생산가공 분야의 용접기술도 날로 발전하여 조선, 자동차, 전기, 전자 및 산업기계 등 대형구조물에서 일상생활에 필요한 가정기기에 이르기까지 광범위하게 이용되고 있다. 특히, 용접은 다른 접합방법에 비하여 접합 효율이 높고 경량화가 가능하며, 재료의 절감, 기밀성이 높을 뿐만 아니라 공장자동화, 무인화에 발맞추어 더욱 그 효용가치가 커지고 있다^{1,2)}.

용접은 작업 시 단시간에 5,000 ~ 6,000 °C 정도의 높은 열을 발생하여 모재를 가열시키기 때문에 모재의 열팽창 및 냉각시의 수축 등이 짧은 순간의 온도 변화로 인하여 국부적으로 굽힘이나 뒤틀림 등의 열 소성변형을 발생시키며, 용접부는 모재의 항복강도에 가까운 높은 잔류응력이 존재하여 파괴 및 피로 강도를 크게 저하시킨다. 용접재료는 금속조직의 변화 및 열응력 영향을 크게 받으므로, 외부로부터 큰 힘과 압력을 받게 되면 순식간에 용접결함이 발생한 부분에서 파괴가 일어난다. 또한 철 구조물의 용접결함과 같은 불연속부에서 반복하중에 의한 피로균열이 발생하여 성장하게 되면 일시에 파손되는 사고가 많이 발생하고 있다^{3,4,5)}.

산업의 발전과 더불어 각종 장비 및 산업구조물의 사용 환경도 점점 열악해지고 있는 실정이다. 이러한 구조물에 대하여 안정성을 고려한 경량이면서도 수명이 긴 고강도를 가지는 재료가 요구되고 있다. 최근에 이러한 요구에 부응하기 위하여 현재, 고강도 재료가 필요한 불도저의 삽날 및 붐대, 크레인의 붐대, 굴삭기의 붐대, 크롤러의 붐대, 덤프트럭의 적재함, 건설기계의 프레임, 각종 농기계의 날 및 프레임 등 구조물 제작에 많이 사용하고 있는 고장력강의 제품으로는 POSTEN 60, 80, 내마모 고장력강관, 자동차구조용 스마트강관, WEL-HARD, WEL-TEN, SAAB사의 HARDOX, ATOS 80, ATOS 60, ATOS55 등이 있다^{6,7)}.

포스코 고장도강관 POSTEN60, POSTEN80은 용접구조용 고장력 강관으로 빌

딩, 교량, 산업기계, 압력용기 등으로 사용된다. 또한 WEL-HARD, WEL-TEN 신일본제철(NSC)의 내마모 고장력 강판은 보통 강과 비교하여 4배 또는 2.5배의 내마모성이 있어 기계부품의 수명 연장화, 경량화, 비용절감에 효과가 있으며, 또한 용접성 및 냉간벤딩 등 가공성이 뛰어나 생산의 효율성이 있어 석유탱크, 가스홀더, LPG선, 교량, 덤프트럭, 크레인, 불도저, 포크레인, 석유시추플랫폼 플랜트, 각종 산업기계, 압력용기, 원유탱크 등에 사용 된다^{8,9,10}.

ATOS는 자동차 구조용 강판(Steel for Automobile Structure)의 약자로 포스코가 자체 개발한 고장력강(열연)이며, 초경량·고강도강의 특성을 갖췄을 뿐 아니라 우수한 형상 편차 제품으로 상용차 프레임, 크레인 붐 부품, 포크레인과 같은 중장비에 쓰인다. ATOS의 우수한 품질은 고객사의 품질 안정화에 도움이 됐을 뿐만 아니라 수입 소재의 국산화로 고객사의 원가절감과 수급 안정화에도 크게 기여했다. ATOS는 인장 강도에 따라 60kg/mm², 80kg/mm² 등으로 구별한다.

타타대우 상용차의 경우 ATOS 고강도강의 상용화를 목적으로 포스코의 EVI (Early Vendor Involvement) 활동과 연계해 ATOS 강종을 적용했으며, 현대자동차는 기존 SSAB사 등으로부터 수입하던 강종을 포스코의 ATOS로 대체해 수급 안정화와 원가절감 효과를 이룰 수 있었다.

ATOS가 이러한 성과를 얻기까지 어려움이 없었던 것은 아니다. ATOS 강종을 사용할 경우 코일 상태로 생산된 제품에 대해 국내 판매 대리점 등을 통해 폭 가공을 해야 하는데, 기존 슬리팅(slitting) 설비로는 고강도 후물 소재 가공이 어려운 상황이었다. 그러나 오히려 이러한 ATOS의 높은 강도는 기존 SSAB재 대비 반복 하중에 의해 발생하는 피로 파괴 면에서 강점을 가져 고객사가 제품에 대한 만족도를 더욱 높이는 데 기여했다.

1.2 연구목적

용접할 때 용접조건이 적합하지 못하면 용접결함이 발생하기 쉽고, 또한 용접열에 의한 모재의 변질, 변형과 수축, 잔류응력의 발생 및 용접부 내의 화학성분과 조직의 변화를 피할 수 없게 된다¹¹⁾.

ATOS 80 고장력강은 일반 강재보다 비싸고, 가공하기에 매우 까다로운 재료이며, 용접시 열 영향으로 인한 경한 조직과 용접법에 따라 용착금속 내부에 기공 등의 결함을 발생시켜 기계적 성질을 모두 저하시키고, 높은 항복응력을 가지고 있어 냉간가공이 어렵기 때문에 구조물 제작이 쉽지 않아 ATOS 80 고장력강에 대한 연구 자료는 미흡한 실정이다.

용접성 평가는 대부분 용접부와 용접부를 구성하는 재료에 대한 금속학적 또는 기계적 성질 등을 평가하는 시험법 등을 채택하고 있다. 이에 대한 연구가 많이 진행이 되고 있으나 용접변수에 따른 기하학적인 조건과 하중형태 등의 복합적인 영향으로 인해 아직도 해결해야 할 문제가 많이 남아 있다¹²⁾.

본 논문에서는 용접시편 재료로 80kgf/mm²급 ATOS 고장력강을 채택하였는데, POSCO CO.에서 생산된 ATOS는 포스코 고유의 브랜드명으로 고강도·초경량화 요구에 반영할 수 있는 혁신제품으로 초경량·고강도 특성뿐만 아니라 우수한 품질 및 안정화로 수입 소재를 국산화 대체로 원가 절감 및 수급 안정에 크게 기여하고 있다. 그러나 ATOS의 높은 강도는 기존 80kgf/mm²급 고장력강보다 반복하중에 대한 피로파괴가 높을 뿐만 아니라 내마멸성 및 내구성이 높지만, 가격이 비싸고, 용접에 있어서는 고강도이기 때문에 신중하게 용접 작업을 하여야만 한다.

이에 본 연구에서는 ATOS 80의 용접성을 평가하기 위하여 일정한 크기로 기계가공한 후, 용접조건을 달리하여 각각의 용접조건에 따른 기계적 특성을 비교 분석하여 최적의 용접조건을 제시하고자 한다.

제 2 장 관련이론

2.1 ATOS 고장력강

고장력강은 탄소강의 특수한 용도로 사용함으로써 미소량의 합금원소를 첨가하고 특수 압연을 통하여 만들기 때문에 보통 탄소강과는 구별된다. 0.2% 이하의 저탄소강에 소량의 Mn을 배합하고 각종 처리에 의해서 인장강도를 $50\text{kgf/mm}^2(490\text{MPa})$ 이상으로 한 것으로 특수한 구조용 재료로서 많이 사용되는 중요한 재료이다. 얇게 만들 수 있고, 강성과 강도가 극히 큰 재료이며, 인성과 용접성이 우수하고 내구성도 양호하며, 용접 시 판 두께를 적게 할 수 있어 용접 비용을 적게 할 수 있는 특징을 갖고 있다.

고장력강의 종류로는 열간 압연한 상태 또는 노멀라이징 상태의 비조질형으로 인장강도가 $60\text{kgf/mm}^2(588\text{MPa})$ 이하이고, Si, Mn의 합금원소를 가지며, 퀴칭과 템퍼링 등의 열처리를 행하여 강도를 높인 조질형으로 인장강도가 60kgf/mm^2 이상의 강으로 노치인성이나 용접성이 양호한 것이 특징이다. 이 고장력강은 고용체가 되면 고용강화를 일으키며, 결정립의 미세화 및 석출에 의해서도 강화되며, 제어압연에 의한 강화법은 가열조건, 압연 압하량, 온도, 가열시간, 그 후의 냉각과정 등을 관리 제어하여 제품을 강인화하는 가공 열처리법에 의하여 생산 한다¹³⁾.

철구조물을 제작 생산하는 산업현장에서 많이 사용하고 있는 고장력강의 제품으로는 POSTEN 60, 80, WEL-HARD, WEL-TEN, ATOS 80, ATOS 60, ATOS55 등이 있다.

포스코 고장력강판 ATOS는 ATOS 80, ATOS 60, ATOS 55가 있으며, ATOS 80 용도는 건설기계, 각종 산업기계, 석유탱크, LPG선박, 불도저, 덤프트럭, 크레인, 석유시추플랫폼, 굴삭기 등에 사용 된다.

포스코에서 생산하는 일반적인 ATOS 80의 철판 두께는 2.3~12.7mm 정도로 화학적 성분은 C와 Mn은 각각 0.2% 이하, Si 0.4% 이하, P는 0.03% 이하 등 저합금강에 분류하여 항복강도는 $65\text{kgf/mm}^2(700\text{MPa})$ 이고, 인장강도는 80kgf/mm^2 이상으로 연신율은 9% 정도이다. Table 2-1과 Table 2-2는 ATOS의 화학적 성분과

기계적 특성을 나타내었다.

Table 2-1. Chemical component of ATOS

Steel	Chemical component(Wt.%)					
	C	Si	Mn	P	S	Nb
ATOS 55	0.20 below	0.40 below	1.50 below	0.03 below	0.03 below	0.05 below
ATOS 60	0.20 below	0.40 below	1.50 below	0.03 below	0.03 below	0.05 below
ATOS 80	0.20 below	0.40 below	2.00 below	0.03 below	0.03 below	-

Table 2-2. Mechanical properties of ATOS high tensile strength steel

Steel	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongation(%), Application thickness(mm)		
			2.3 ~ 5.0	5.0 ~ 6.3	6.3 ~ 12.7
ATOS 55	540 adove	400 adove	20 adove	21 adove	14 adove
ATOS 60	590 adove	440 adove	19 adove	20 adove	13 adove
ATOS 80	780 adove	700 adove	14 adove	14 adove	9 adove

2.2 인장시험

2.2.1 네킹의 형태와 응력분포

네킹은 일반적으로 연성금속의 경우 인장변형 중 최대 하중점에서 시작된다. 가공경화가 일어나지 않는 이상적인 소성재료는 인장할 때 항복이 시작되면서 불안정해지면서 네킹이 시작된다. 그러나 실제 금속은 가공경화가 일어난 변형이 증가함에 따라 시편의 단면이 적은 시편의 길이가 증가함에 따라 점차로 감소한다. 이 효과 중 가공경화에 의한 시편의 하중 수용능력의 증가보다 시편의 단면적 감소로 인한 응력의 증가가 클 때, 즉 국부적 변형이 시작된다. 국부적인 변형을 유발하는 이러한 불안정한 조건은 $dp=0$ 으로 정의된다. 인장시험에서 네킹의 형성은 복잡한 3축 응력상태를 유발하며, 네킹이 일어난 영역은 완만한 곡률을 갖는 노치이다. 인장시험시 노치는 원주방향과 횡방향 응력을 유발시켜 소성유동을 일으키는데 필요한 인장축의 응력을 증가시킨다. 그러므로 Fig. 2-1과 같은 네킹지역에서는 기하학적인 형태와 이 국부변형에 의한 응력분포를 보인다. Fig. 2-2의 곡률반경 값은 네킹지역의 곡률반경으로 이것은 네킹지역을 스크린 상에 영상하거나 원주형 곡률계 이지를 사용하여 측정할 수 있다.

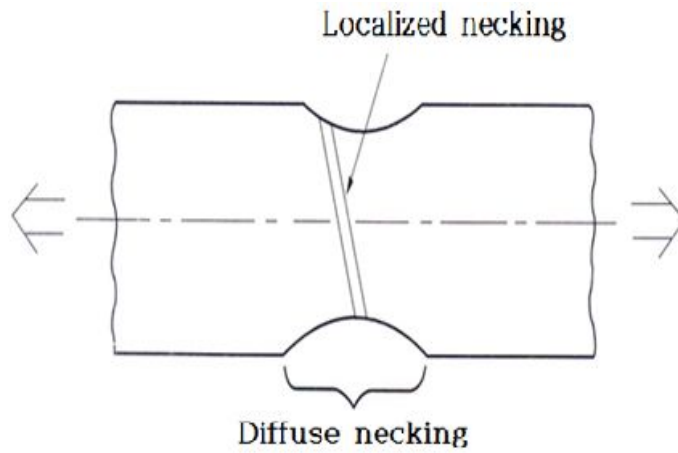


Fig. 2-1. Diffuse necking and localized necking occur to the flake specimen

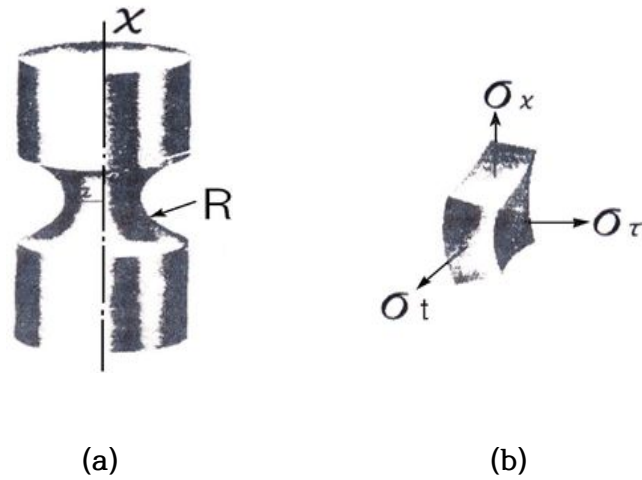



Fig. 2-2. Geometric type of necking part(a) and apply stress to point(b)

2.2.2 시험편 단면모양

시험편 단면 형상을 변화시키면서 풀림 열처리한 연강 재료에 대하여 인장강도 및 항복점 등의 차이를 측정하면, 원형 단면시험편이 인장강도 및 항복점이 가장 크고, 그 다음 직사각형 단면시험편이고, '  '형의 단면시험편이 가장 적다.

2.2.3 시험온도의 영향

인장시험에서 얻은 응력-변형률(σ - ϵ) 곡선과 유동 및 파괴성질은 시험이 수행되는 온도에 크게 의존한다. 일반적으로 시험온도가 높을수록 강도는 감소하고 연성은 증가한다. 그러나 어떤 온도에서는 석출, 변형시효, 재결정과 같은 미세적인 구조변화가 일어나 이러한 일반적인 거동을 반대일 수도 있다. 고온에서는 열적 활성화 과정들이 변형을 도와 강도를 감소시킨다. 고온에서 오래 동안 노출이 되면 구조적 변화가 일어나 시간 의존적 변형, 즉 크리프가 일어난다.

2.2.4 변형속도의 영향

시험편에 부과되는 변형속도는 유동응력에 큰 영향을 미칠 수 있다. 변형속도는 $\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt}$ 로 정의되며, 종전부터 일반적으로 sec^{-1} 의 단위로 표시된다. 일반적으로 변형속도에 대한 실험 예를 Table 2-3에 나타내었다.

Table 2-3. Spectrum of strain ratio

Range of strain velocity	Test conditions and aspect
$10^{-8} \sim 10^{-5} \text{ S}^{-1}$	Creep test in fixed load or stress
$10^{-5} \sim 10^{-1} \text{ S}^{-1}$	Silence tensile test in hydrodynamic and screw tension tester
$10^{-1} \sim 10^2 \text{ S}^{-1}$	Dynamic tensile or compression test
$10^{-2} \sim 10^4 \text{ S}^{-1}$	High speed test to impact test
$10^4 \sim 10^8 \text{ S}^{-1}$	High-speed impulse from gas rifle or explosion reclaim 041

변형속도는 강도에 민감하다. 저탄소강의 경우 일반적인 하중 속도에서 항복점이 나타나지만 높은 변형속도 하에서는 나타나지 않는다.

2.3 비커스경도시험

2.3.1 비커스경도시험

실제로는 압흔의 대각선 길이가 200~500 눈금 범위에서는 5, 10, 20, 30, 50kg 중 어느 것을 선택해도 좋다. 하중 부하속도가 아주 빠르면 추나 지레 등, 하중계 관성의 영향으로 경도는 낮게 측정된다. 그 정도는 사용하는 하중이 작을수록 또는 시료가 딱딱할수록 현저하다. 이를 피하려면 하중은 갑작스러운 충격을 피하고 서서히 증가하여 규정의 크기에 이르도록 해야 한다.

하중을 규정의 크기로 장시간 유지하면 경도 값이 상당히 저하한다. 측정치의 안정성이나 유지시간 변동의 영향을 고려하면 장시간이 좋으나 측정 능률을 중시하는 실제적인 면에서 KSB 0811 등의 규정과 같이 특별히 지정하는 바가 없으면 10~15초로 한다. 시험하중의 부하는 대략 H_V 700인 시료를 놓고 시험하중 30kg을 가하기 시작하여 끝나기까지 소요시간을 5~10초가 되도록 부하속도를 조정하는 것이 좋다. 그리고 시험온도는 10~35℃의 범위로 하고 시험온도에 민감한 재료는 $23 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 한다.

그 외에도 측정시 다음과 같은 주의가 요구된다. 시험면의 연마는 대각선 길이를 그 측정치의 0.5%, 또는 0.0002mm 중 어느 것이라도 큰 값까지 측정이 용이할 정도로 마무리한다. 시험면은 원칙으로 평면이며, 수평으로 놓는다. 시험편의 두께는 대각선 길이의 1.5배 이상으로 한다. 다이아몬드 압자의 선단 형상은 압흔을 일상적인 현미경 검사로서 적정 여부를 관찰한다. 시험하중은 통상 0.3~50kg까지 이나 다른 제한이 없는 한 큰 하중을 사용하는 편이 측정치의 산포를 줄일 수 있으며, 강재는 보통 50kg의 하중을 사용한다. 경도를 측정하는 중심위치는 먼저 생긴 압흔의 중심으로부터 4d 이상 또는 시험편의 테두리에서 2.5d 이상인 곳이어야 한다. 경도의 수치는 정수 1자리까지로 하고 표시방법은 예를 들어, 30 하중으로 H_V 가 250일 때 $H_V(30)250$ 로 표시한다.

2.3.2 비커스경도시험 경도 계산

비커스경도(H_V)는 대면각이 136° 의 다이아몬드 피라미드형 압입자로 시편을 압입하였을 때, 작용하중(P)을 압입된 자국의 표면적(A)으로 나눈 값으로 식(2-1)과 같이 나타낸다.

$$H_V = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{d^2}{2\sin\frac{\theta}{2}}} = \frac{2P\sin\frac{\theta}{2}}{d^2} = \frac{1.854P}{d^2} \dots\dots\dots (2-1)$$

식(2-1)은 다음과 같은 과정에 의해 유도된다.

Fig. 2-3에서 보는 바와 같이 다이아몬드 피라미드 $\square ABCB$ = 정사각형 $\overline{AB} = \overline{BC} = \overline{CD} = \overline{DA} = S$ 이고, $\square ABCB$ 의 대각선 $\overline{AB} = \overline{BC} = d$ 이다.

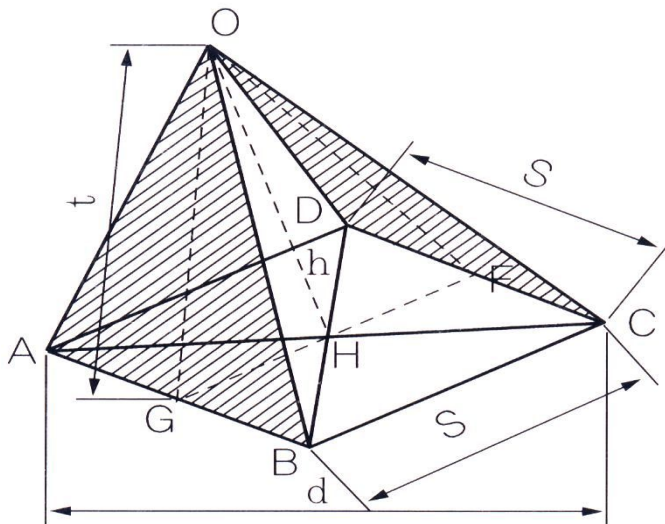


Fig. 2-3. Vickers hardness testing in the surface area of indentation

$\angle FOG = \theta$ 대면각 이라하면, $\triangle OAB \equiv \triangle OBC \equiv \triangle OCD \equiv \triangle ODA$ 이므로 압입된 자국의 표면적(A)는 $\triangle OAB, \triangle OBC, \triangle OCD, \triangle ODA$ 의 면적의 합과 같다.

$$A = \triangle OAB + \triangle OBC + \triangle OCD + \triangle ODA = 4 \times \triangle OAB$$

$$\triangle OGH \equiv \triangle OFH \text{ 이므로 } \overline{GH} = \overline{FH} = \frac{S}{2}, \angle GOH = \theta$$

$$\triangle OGH \text{에 } \sin \frac{\theta}{2} = \frac{\overline{GH}}{\overline{OG}} = \frac{\frac{S}{2}}{\overline{OG}}$$

$$\therefore \overline{OG} = h = \frac{\frac{S}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

따라서 $\triangle OAB$ 의 면적은 다음과 같다.

$$\triangle OAB = \frac{1}{2} \times \overline{AB} \times \overline{OG} = \frac{1}{2} \times S \times \frac{\frac{S}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{\frac{1}{4} S^2}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

$$\therefore S^2 = \frac{d^2}{2}$$

$$A = 4 \times \triangle OAB = 4 \times \frac{\frac{1}{4} S^2}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{S^2}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{\frac{d^2}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{d^2}{2 \sin \frac{\theta}{2}}$$

$$H_V = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \sin \frac{\theta}{2}}} = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2}$$

$$H_V = \frac{P}{A} = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = \frac{2P \sin 136^\circ}{\frac{2}{d^2}} = \frac{1.8544P}{d^2} \dots\dots\dots (2-2)$$

2.4 샤르피 충격시험

샤르피 충격시험 방법은 G. Charpy가 1901년에 발표한 시험법으로 지금까지도 널리 사용되고 있다. 충격 흡수에너지 E 는

$$E = WR(\cos\beta - \cos\alpha) \dots\dots\dots (2-3)$$

가 된다. 여기서 W 는 중량, R 은 펜듈럼의 반경, α 와 β 는 시편에 대한 충돌 이전과 이후의 각도이다. 그리고 E 값을 샤르피 흡수에너지라 부르기도 한다. 시험기의 용량은 $WR(1 - \cos\alpha)$ 로 주어지며, 전술한 바와 같이 일반적으로는 $30\text{kg}\cdot\text{m}$ 의 용량에 사용되나 강인한 강은 $50\text{kg}\cdot\text{m}$ 의 것이 사용되며, 경합금이나 주철 등의 취성 재료는 $5\text{kg}\cdot\text{m}$ 이하의 작은 용량의 시험기가 사용되기도 한다. 이러한 경우에는 사용된 시험기의 용량을 표시해야 하며 타격속도는 $2gR(1 - \cos\alpha)^{1/2}$ 로 표준시험기의 타격속도는 $5\text{m}/\text{sec}$ 이나 타격속도가 변화하면 파괴기구가 다르고 흡수에너지에 차이가 생긴다.

제 3 장 시험편 및 실험방법

3.1 시험편

3.1.1 시험편

본 실험에 사용한 재료는 POSCO CO.에서 생산된 포스코 고장력강판 ATOS 80으로서 두께 12mm 압연판재를 사용하였다.

먼저 ATOS 80 고장력강의 기계적 성질을 알아보기 위하여 인장시험 및 경도시험을 행하였다. 인장시험은 KSB 0801에 따라 시행하였으며, 경도시험은 마이크로 비커스경도기를 사용하였다. 경도측정용 시험편의 표면을 연마지 #2,000와 컴파운드(cp1000)를 같이 사용하여 연마한 후 산화알루미나(Al_2O_3 , $0.3\mu m$)로 래핑 가공하여 경도시험편을 제작하였다. 비커스 경도 실험에 사용한 하중은 500g, 하중 작용 시간 30sec의 조건하에서 60회 측정하였다.

Table 3-1은 본 실험에 사용된 ATOS 80 고장력강의 화학적 성분을 나타냈으며, 인장시험과 경도시험을 통해 구한 기계적 성질은 Table 3-2에 나타내었다.

Table 3-1. Chemical compositions of ATOS 80 high tensile strength steel(Wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Fe
0.071	0.06	1.68	0.0136	0.038	0.02	0.15	0.06	BAL

Table 3-2. Mechanical properties of ATOS 80 high tensile strength steel

Yield Stress (Mpa)	Tensile Stress (Mpa)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
581	773	15	195

3.1.2 용접 시험편

고장력강 용접이음 홈 형상의 용접조건에서 맞대기이음 용접할 때 두께 1.5~16mm는 V형상으로, 두께 12~38mm는 X형상이나 U형상을 선택하도록 되어 있으나¹⁴⁾, 플럭스 코어드 아크 용접은 일반적으로 세라믹으로 뒷받침체로 사용하기 때문에 용접이음부의 개선 모양을 X형 이음보다는 본 실험에서는 현장과 같이 V형 이음 홈 형상으로 정하고, 저합금 고장력강은 일반가스절단으로 어렵기 때문에 레이저빔으로 절단하여 용접시험편을 제작하였다.

본 연구에서는 ATOS 80의 용접조건에 따른 제 실험을 측정하기 위하여, 일반적으로 Fig. 3-1과 같이 용접시험편을 구속하지 않은 상태의 비구속 용접하여 실험에 사용하고 있지만, 실제 현장에서 사용하고 있는 구조물은 구속하는 상태에서의 구속용접 작업을 하고 있다.

따라서 본 실험에서는 실제 현장에서의 구조물 용접작업 조건과 같은 효과를 내기 위하여 Fig. 3-2와 같이 자체 제작하여 용접 변형을 구속하는 형태의 구속 용접과 구속하지 않은 상태의 비구속 용접으로 제작한 용접시험편을 실험을 통하여 용접부의 각각 제 특성을 비교 검토하고자 한다.

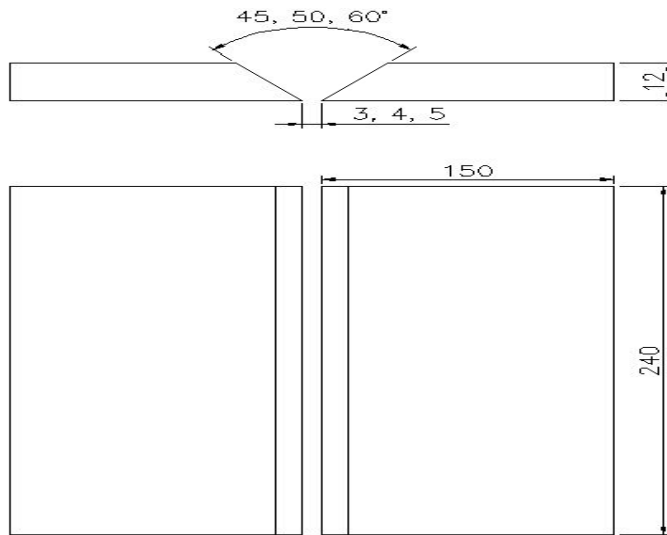


Fig. 3-1. Unconstraint welding joint shape of specimens

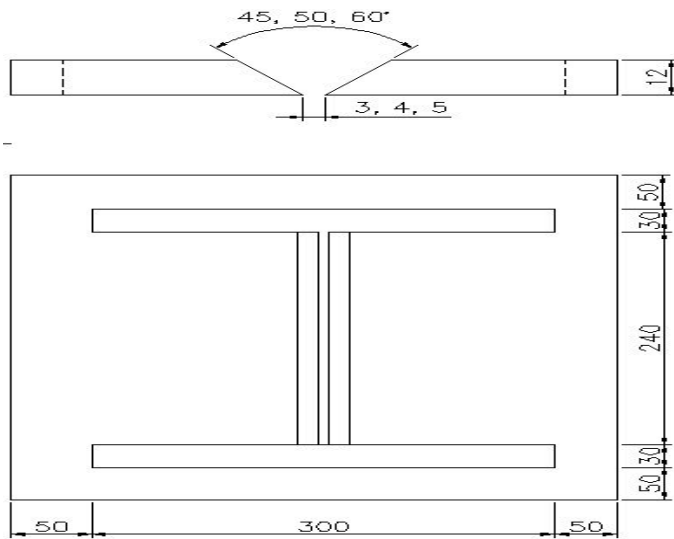


Fig. 3-2. Constraint welding joint shape of specimens

3.1.3 시험편 제작

본 연구에서는 용접 조건별로 인장강도시험편, 충격시험편, 경도시험편 등을 규격에 맞게 시험편을 제작하였다. Fig. 3-3은 ATOS 80 고장력강을 용접한 시험편을 각각의 실험용 시험편을 채취하는 도면이며, Fig. 3-4는 각 시험편의 입체도이다. Fig. 3-5는 용접시험편에서 실험용 시험편을 채취한 것이다.

Fig 3-6은 실험에 사용된 인장강도 시험편을 가공하는 제작 도면이고, Fig 3-7은 실험에 사용하는 충격시험편을 가공하는 제작 도면이며, Fig 3-8은 실험에 사용하는 경도 시험편을 가공하는 제작 도면이다.

인장강도시험편은 두께 12mm의 판재를 V형 맞대기를 플럭스 코어드 아크 용접을 한 후, 와이어 커터로 치수에 맞게 가공한 다음 두께 11mm 정도가 되도록 밀링가공하고, 연삭기로 표면을 연마하였다.

충격시험편도 인장강도 시험편과 같은 방법으로 제작하였으며, 노치는 $\Phi 2\text{mm}$ 의 와이어 커터 머신에 의해 깊이 2mm가 되도록 가공하였다.

경도 시험편은 용접시험편을 레이저 빔 절단기로 채취하여, 단면이 평면이 되도록 밀링가공한 후, 연삭기로 표면을 연마하여 경도 시험편을 제작하였다.

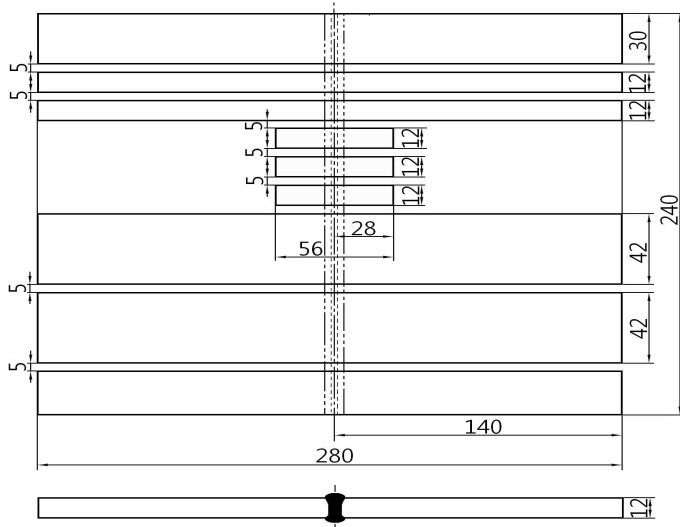


Fig. 3-3. Geometry for the extraction of specimens

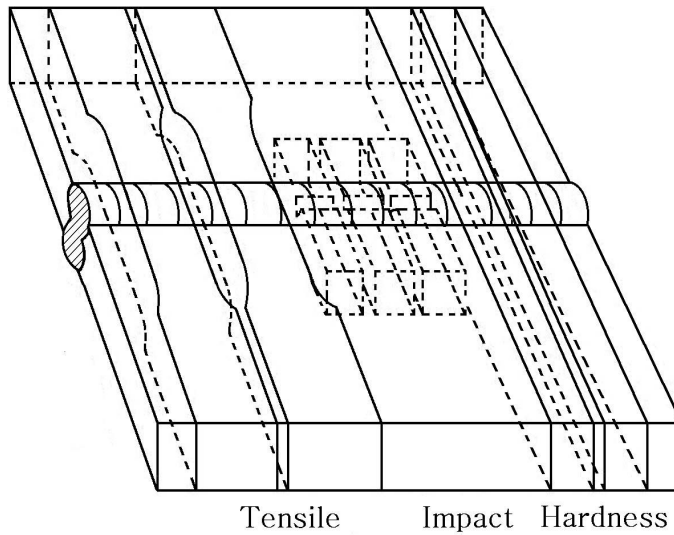


Fig. 3-4. Location for the extraction of specimens

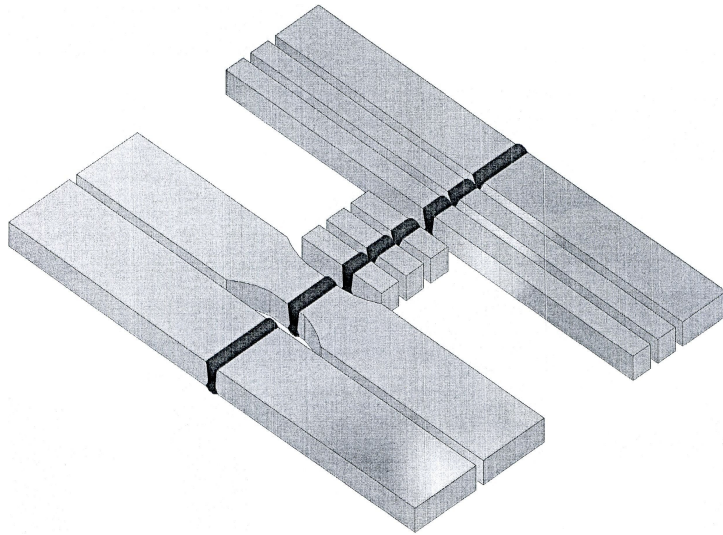


Fig. 3-5. Shape for the extraction of specimens

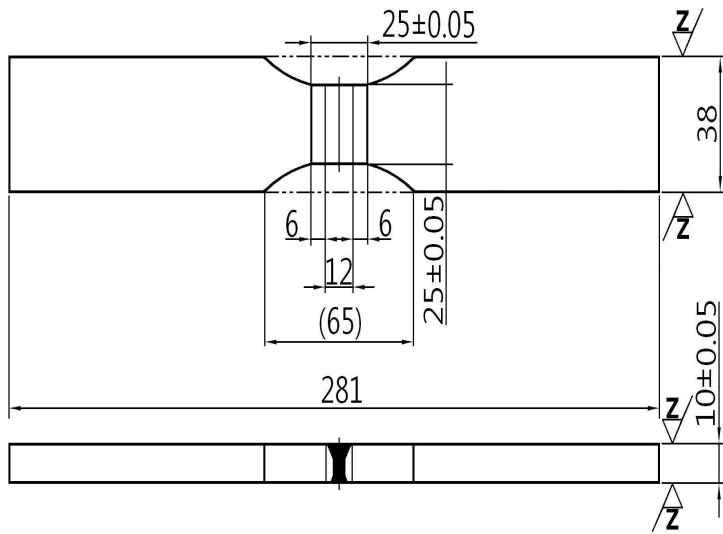


Fig. 3-6. Geometry of tensile test specimens

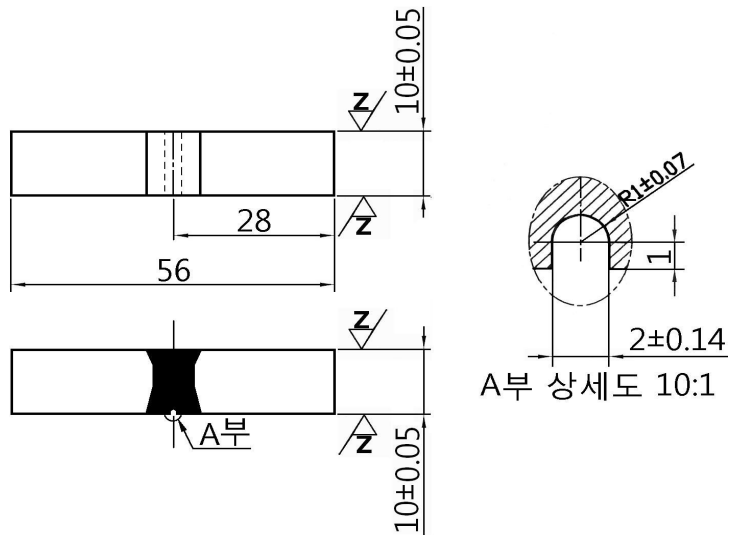


Fig. 3-7. Geometry of impact test specimens

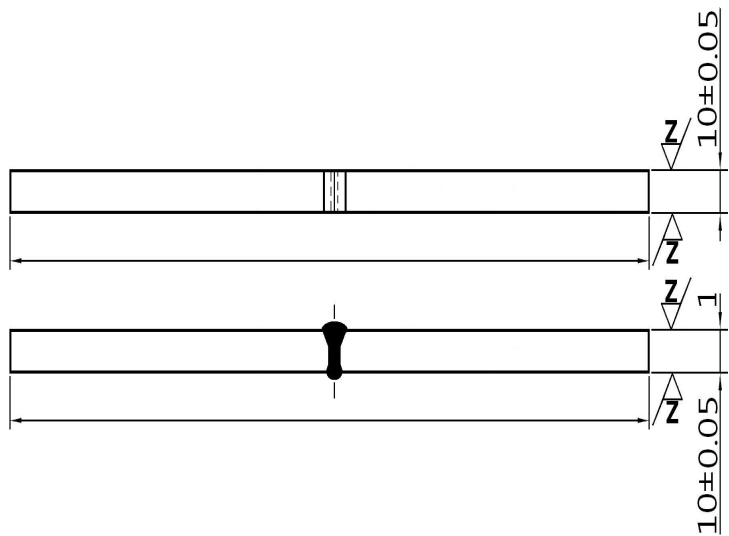


Fig. 3-8. Geometry of hardness and welding structures in specimens

3.1.4 용접 조건

본 연구에서는 기계적 시험에 의하여 ATOS 80 고장력강의 용접성을 알아보기 위하여 용접조건을 각각 달리하여 기계적 성질을 평가하였다.

ATOS 80 용접이음부의 용접성 중 각각의 용접조건에 따라 기계적 성질을 얻기 위해서 입열량을 임의로 일정하게 조절할 수 있는 플럭스 코어드 아크 용접을 사용하였고 뒷받침은 세라믹을 사용하였다.

ATOS 80 용접이음부의 구속 및 비구속 용접에 대한 각 시험편의 명명(A-4-1, A-4-2, A-5-2, B-4-1, B-4-2, B-5-2)은 다음과 같다.

첫째, 구속 및 비구속 용접의 구분은 구속용접이 A, 비구속 용접이 B로 정의하였다.

둘째, 용접 이음부의 패스 수에 따른 구분은 4패스는 4, 5패스는 5로 정의하였다.

셋째, 용접부의 보호가스량에 따른 구분은 15ℓ/min은 1, 20ℓ/min은 2로 정의하였다.

Table. 3-3, 3-4는 본 실험에서 사용한 용접시험편들의 용접조건들을 나타내고 있다.

Table 3-3. Welding condition in number of welding passes

Welding plate NO.	A-4-2	A-5-2	B-4-2	B-5-2
pass	4	5	4	5
Constraint relation	Constraint	Constraint	Unconstraint	Unconstraint
Shielding gas	CO ₂ 100%	CO ₂ 100%	CO ₂ 100%	CO ₂ 100%
Route interval (mm)	5	5	5	5
Gas amount (ℓ/min)	20	20	20	20
Support	Ceramic	Ceramic	Ceramic	Ceramic
Welding current (A)	200	200	200	200
Arc voltage (V)	24	24	24	24
Opening angle (°)	50	50	50	50
Welding speed (cm/min)	14.4	14.4	14.4	14.4
Temperature (°C)	160	160	160	160

Table 3-4. Welding conditions in shielding gas amounts

Welding Plate NO.	A-4-1	A-4-2	B-4-1	B-4-2
Gas amount (ℓ/min)	15	20	15	20
pass	4	4	4	4
Constraint relation	Constraint	Constraint	Unconstraint	Unconstraint
Shielding gas	CO ₂ 100%	CO ₂ 100%	CO ₂ 100%	CO ₂ 100%
Support	Ceramic	Ceramic	Ceramic	Ceramic
Route interval (mm)	5	5	5	5
Welding current (A)	200	200	200	200
Arc voltage (V)	24	24	24	24
Opening angle (°)	50	50	50	50
Welding speed (cm/min)	14.4	14.4	14.4	14.4
Temperature (°C)	160	160	160	160

3.1.5 용접장치

ATOS 80 고장력강을 플럭스 코어드 아크 용접기로 GMA 용접하였고, 사용된 용접봉은 모재와 같은 성분의 재질로 80킬로급 고장력강용 Flux cored wire AWS A5.29 E110T1-K3C를 사용하였으며, 직경 1.2mm로 릴 형태의 와이어를 사용하였다. 80 킬로급 고장력강용 Flux cored wire AWS A5.29 E110T1-K3C의 화학성분과 기계적 성질은 Table. 3-5, 6과 같다.

Table 3-5. Chemical compositions of E110T1-K3C welded wire(Wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Fe
0.04	0.51	1.72	0.014	0.012	2.04	BAL

Table 3-6. Mechanical properties of E110T1-K3C welded wire

Yield Stress (Mpa)	Tensile Stress (Mpa)	Elongation (%)	Impact value (J [kgf · m] 20℃)
751	834	21	80()

용접할 모재의 용접부 주위에 먼지, 오물, 수분, 기름 등 불순물이 부착되어 있으면 ATOS 80 고장력강 용접에 악영향을 끼치게 되므로 용접하기 전에 용접 개선부 전체를 밀링으로 매끈하게 가공하고, 용접개선부와 그 주변을 핸드그라인더를 사용하여 용접 이음면을 깨끗하게 청소한 후 와이어 브러쉬로 깨끗하게 청소한 후 용접하였다.

본 실험에서 용접에 사용한 보호가스는 CO₂ 100% 를 사용하였으며, 순도는 99.5% 이상으로 사용하였다. 또한, 바람과 먼지, 습기 등이 없는 실내에서 작업을 하였다. GMAW 장치도는 Fig. 3-9와 같으며, 사용한 GMAW 기계는 출력이

12.5KW, 350A인 조웰 CO.에서 제작한 것이고, 청송에서 제작한 오토 캐리지를 이용한 자동 GMAW 용접기를 사용하였다.

ATOS 80 고장력강의 이면용접부는 세라믹 백제로 완전하게 실딩하고, 각 시험편은 용접조건에 따라 실시하였으며, 용접부의 표면온도가 200℃이하로 서냉한 후 각 패스용접을 하였다.

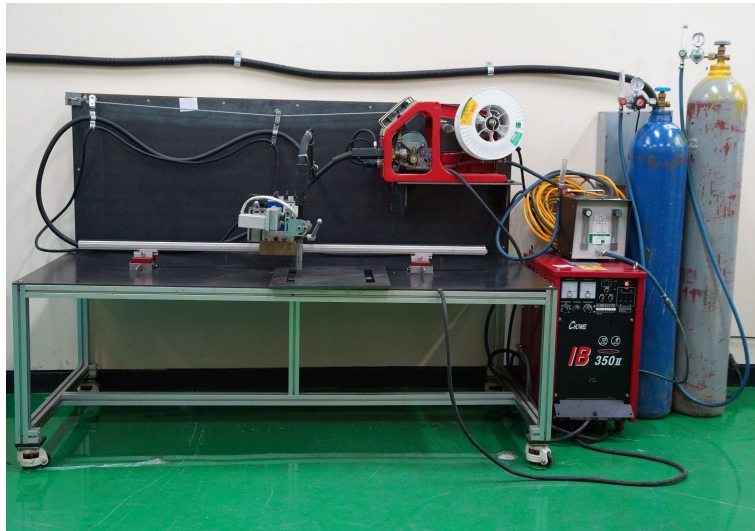


Fig. 3-9. A setup of GMAW equipment

3.2 실험방법

본 연구에서는 ATOS 80 고장력강의 용접성 평가를 구속용접과 비구속용접 등 용접조건을 통하여 비교·검토하였다.

먼저, 용접성 평가를 위하여, 용접이음의 패스 수에 따라 4, 5패스로 분류하여 각각 시험편을 용접하였고, 실딩가스의 양에 따라 15 ℓ/min, 20 ℓ/min으로 분류하여 각각 시험편을 제작하였다.

3.2.1 인장강도시험

인장강도시험용 용접시험편은 맞대기이음 용접한 것으로 한국산업표준 KS규격 KS B 0801 12호 12B 규격에 의하여 가공하였으며, 인장강도시험편 제작은 용접부에 열영향을 주지 않기 위하여 먼저 레이저가공으로 직사각형으로 절단하고, 전체 면은 밀링으로 가공한 뒤, 인장부분은 머시닝센터로 가공하였다. 최종적으로 인장강도시험편 규격에 맞도록 연삭기로 가공하였다.

인장강도시험기(UH-F50A)의 용량은 50[ton]이며, 용접조건에 따라 용접한 용접 시험편을 인장강도시험 KS규격에 따라 가공하여 인장강도시험을 하여 항복강도, 인장강도, 연신율 등 측정된 결과 후 기계적 성질을 파악하여 비교, 검토하였고, 모든 인장강도시험편의 파단은 대부분 모재부분에서 발생했지만 일부 경계부에서 발생하였고, 구속된 상태에서 5패스로 용접한 시험편만 용착부분에서 파단되었다. 용접방법은 플럭스 코어드 아크 용접 방법으로 시험편의 용접조건에 따라 아래보기 자세로 용접하였다.

Fig. 3-10과 같이 인장강도시험편을 인장강도시험편 규격에 맞도록 연마가공을 한 후, 인장강도시험편을 인장강도시험기에 고정시키고, 서서히 작업 순서에 따라 인장강도시험을 진행하였다. 항복 전 인장속도는 5mm/min으로 하였고, 항복 이후의 인장속도는 10mm/min의 속도로 인장작업을 하면서 항복강도값과 극한강도값, 파단된 후의 연신율을 구하였다. Fig. 3-11은 인장강도실험 후의 시편이다.



Fig. 3-10. After fine grinding of tensile test specimens



Fig. 3-11. After tensile test of specimens

3.2.2 경도시험

경도시험용 용접시험편은 맞대기이음 용접한 그대로 비커스경도를 측정 가능하게 용접부 단면을 가공하여 제작하였으며, 시험편 제작은 용접부에 가공 열영향을 주지 않기 위하여, 먼저 레이저 빔 절단기에 의하여 Fig. 3-8과 같이 직사각형으로 절단하고, 전체 용접부 단면을 밀링으로 평면 가공한 후, 연삭기로 표면을 정밀하게 평면이 되도록 연마하였다.

경도시험은 시험편의 용접선 가로 방향으로 용접부의 각 부위(Weld Metal Zone, Bond Zone, HAZ, Temperature Affected Zone)를 마이크로 비커스 경도계로 측정하였다. 경도측정용 시험편의 표면을 경면 연마한 후 하중 500g, 하중작용 시간 30초 동안 작용시켜 2mm 간격으로 측정하고 최대값과 최소값을 제외한 측정결과로 얻었다.

경도시험은 Fig. 3-12와 같이 경도시험편을 KS 규격에 맞도록 시험편의 표면을 연마지 #2,000와 컴파운드(cp1000)를 같이 사용하여 연마한 후 산화알루미나(Al_2O_3 , $0.3\mu m$)로 래핑 가공 등 폴리싱 처리를 하였으며, 경도시험기로 실험에 사용한 하중은 500g, 하중작용시간 30sec의 조건하에서 용착부에서부터 본드부, HAZ, TAZ 까지 2mm 간격으로 각각 측정하였다.



Fig. 3-12. After fine grinding of hardness test specimens

3.2.3 충격시험

본 실험에서는 용량 50kgf·m의 샤르피 충격시험기를 사용하여 용접에 조건에 따른 충격시험을 실시하였다.

취성시험용 용접 시험편은 맞대기 용접한 것으로 한국산업표준 KS규격 KS B 0809의 u노치 시험편에 의하여 가공하였으며, 시험편 제작은 용접부에 가공 열영향을 주지 않기 위하여 제일 먼저 레이저가공으로 직사각형으로 절단하고 전체 면은 밀링으로 가공한 뒤, 인장부분은 머시닝센터로 가공하였다. 최종적으로 시험편 규격에 맞도록 연삭기로 가공하였다.

충격시험기(UH-F50A)의 용량은 50ton이며, 충격측정용 시험편의 표면을 연마한 후 하중 500g, 하중작용시간 30초 동안 작용시켜 2mm 간격으로 측정하고 최대값과 최소값을 제외한 측정결과로 얻었다.

충격시험은 Fig. 3-7과 같이 충격시험편을 충격시험편 규격에 맞도록 제작한 후, 작업 순서에 따라 충격시험을 진행하였다. 샤르피 충격시험기로 해머의 타격속도는 약 5m/sec의 속도로 타격하여 충격시험편이 파단되었을 때 가해지는 하중 값으로 실험 데이터를 얻었다.

제 4 장 실험결과 및 고찰

4.1 용접조건에 따른 용접부의 인장강도 특성

4.1.1 용접부의 패스 수에 따른 인장강도

Fig. 4-1과 4-2는 용접이음의 패스 수에 따른 용접부의 인장강도시험의 결과를 나타낸 것이다. 비구속 상태에서 용접패스 수에 따른 인장강도시험 결과는 인장강도 값은 같으나, 4패스는 항복강도 값과 연신율이 적게 나타났다. 4패스에서 용접패스 수가 적어 열처리 효과가 적었기 때문이라 사료되며, 구속한 상태에서 5패스 용접은 적은 하중에 의하여 파단되었다. 구속 상태에서의 많은 용접패스로 인하여 미세한 조직으로 취성이 높아 용착부가 파단 된 것으로 사료된다. 전체적으로 볼 때 구속·비구속상태의 용접에서 4패스가 5패스보다 적합한 용접조건이라 사료된다.

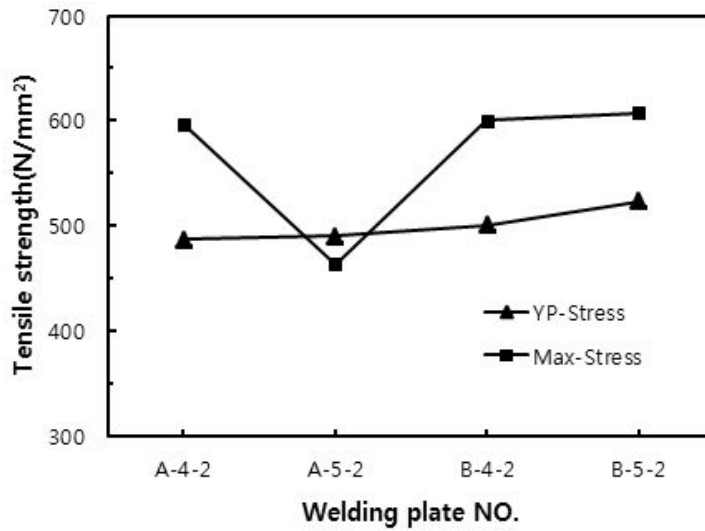


Fig. 4-1. Result of tensile strength according to number of welding pass

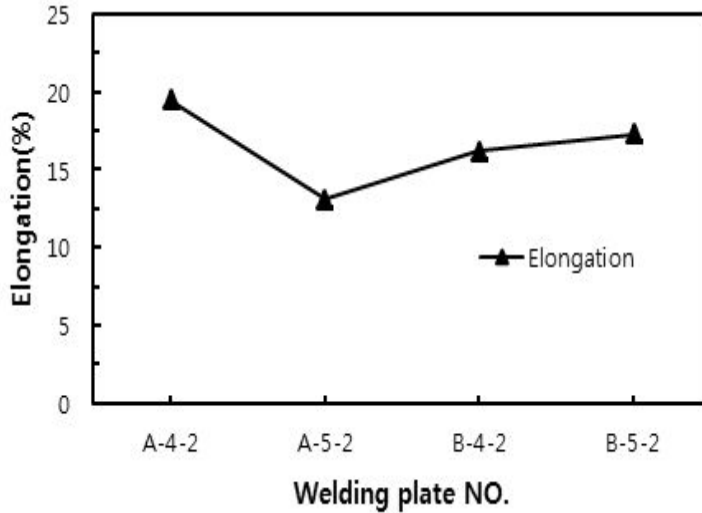


Fig. 4-2. Result of elongation according to number of welding pass

4.1.2 용접부의 보호가스량에 따른 인장강도

Fig. 4-3과 4-4는 용접부의 보호가스량에 따른 용접부의 인장강도시험에서 얻은 강도값과 연신율을 나타낸 것이다. 인장강도값과 항복강도값, 연신율은 혼합가스량이 15ℓ/m일 때 20ℓ/m보다 약간 좋게 나타났다. ATOS 80 고장력강의 보호가스량에 따른 용접조건에서는 15ℓ/m의 보호가스량이 적당한 것으로 사료된다.

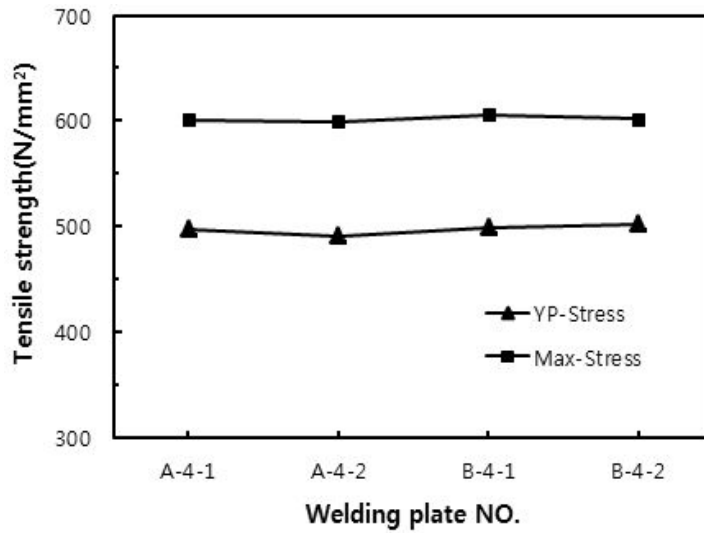


Fig. 4-3. Result of tensile strength according to shielding gas amount

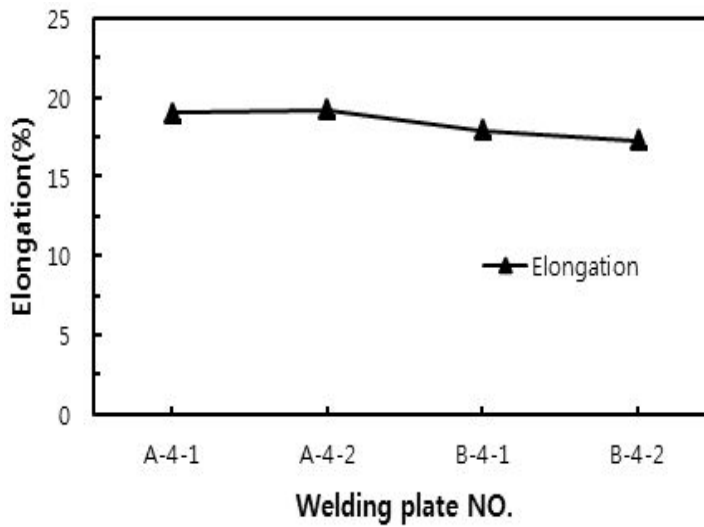


Fig. 4-4. Result of elongation according to shielding gas amount

4.2 용접조건에 따른 용접부의 비커스경도 특성

4.2.1 용접부의 패스 수에 따른 비커스경도

용접이음의 패스 수에 따른 경도시험은 각 경도시험편을 용접이음의 패스 수에 따라 Table. 3-3과 용접을 진행하였다. Table. 4-1은 용접 패스 수에 따라 용접한 용접부의 표면비드와 이면비드의 폭과 높이의 수치이다.

Table. 4-1. Size of welding in number of welding passes

X-film NO.	surface bead		back bead	
	width[mm]	height[mm]	width[mm]	height[mm]
A-4-2	20.8	1.6	14.2	4.9
A-5-2	23.8	1.4	12.9	4.7
B-4-2	20.0	1.0	11.3	3.5
B-5-2	19.0	1.9	10.8	3.3

Fig. 4-5에서 비구속 상태에서의 용접패스 수에 따른 경도시험에서 4패스, 5패스 시험편의 경도값은 비슷하게 나타났으나, 5패스 시험편의 경우 용착금속의 중심에서 bond부까지 거의 일정하게 하락되어 나타났고, 4패스 시험편은 용착금속의 중심 부분에서 약간 불규칙적으로 나타났다.

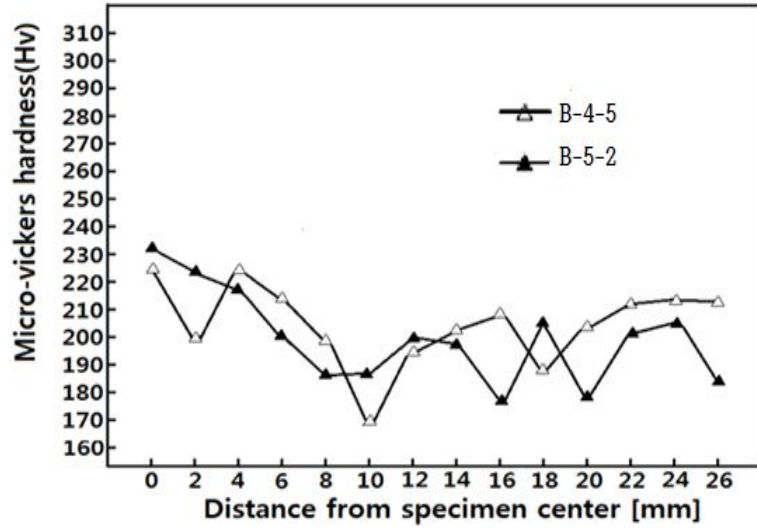


Fig. 4-5. Hardness distribution in welding according to welding pass the number of times in unconstraint welding

Fig. 4-6은 구속 상태에서의 용접패스 수에 따른 경도시험에서 4패스보다 5패스에서 경도값은 높게 나타났는데, 5패스일 경우 많은 용착량과 용접 입열량이 커 열에 의한 급격한 취성 현상으로 사료되며, 이로 인하여 A-5-2 시험편의 용착부에서 파단된 것을 알 수 있다.

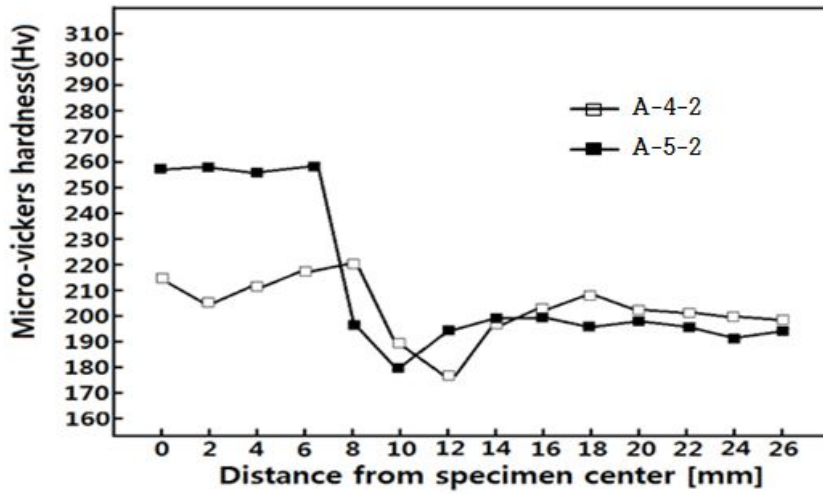


Fig. 4-6. Hardness distribution in welding according to welding pass the number of times in constraint welding

4.2.2 용접부의 보호가스량에 따른 비커스경도

각 경도시험편의 용접부 보호가스 양에 따른 경도시험은 Table. 3-4와 같이 비구속 용접과 구속 용접방법을 실시하여 용접을 진행하였다. Table. 4-2는 보호가스 양에 따라 용접한 용접부의 표면비드와 이면비드의 폭과 높이의 수치이다.

Table 4-2. Welding size in shielding gas amounts

X-film NO.	surface bead		back bead	
	width[mm]	height[mm]	width[mm]	height[mm]
A-4-1	20.1	1.5	13.6	4.7
A-4-2	20.8	1.6	14.2	4.9
B-4-1	19.0	1.0	11.4	3.4
B-4-2	20.0	1.0	11.3	3.5

Fig. 4-7은 비구속 상태의 보호가스 양에 따른 경도시험의 결과이다. 보호가스량이 15 l/m에서는 각 지점에서 변동 폭이 적었으나, 20 l/m에서는 열영향부에서 많이 하락되고, 용착부와 모재부분에서 경도 값이 많이 변동되어 나타난 것을 볼 수 있다.

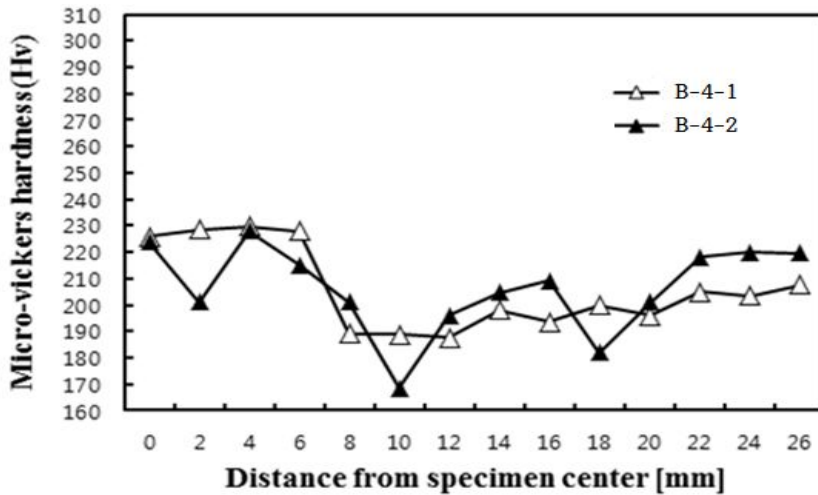


Fig. 4-7. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding shielding in unconstraint welding

Figs. 4-8은 구속 상태에서 보호가스량에 따른 경도시험의 결과이다.

보호가스량이 15 l/m인 용접시험편의 용착부에서는 경도 값이 약간 변동되다가 열영향부에서 낮은 경도 값이 나타났고, 모재 끝 부분으로 가면서 상승되는 것을 알 수 있다.

보호가스량이 20 l/m인 용접시험편의 용착부에서 본드부로 갈수록 경도 값이 높아지다가 열영향부에서 낮은 경도 값이 나타났고, 모재부분에서는 일정하게 경도 값이 나타난 것을 볼 수 있다.

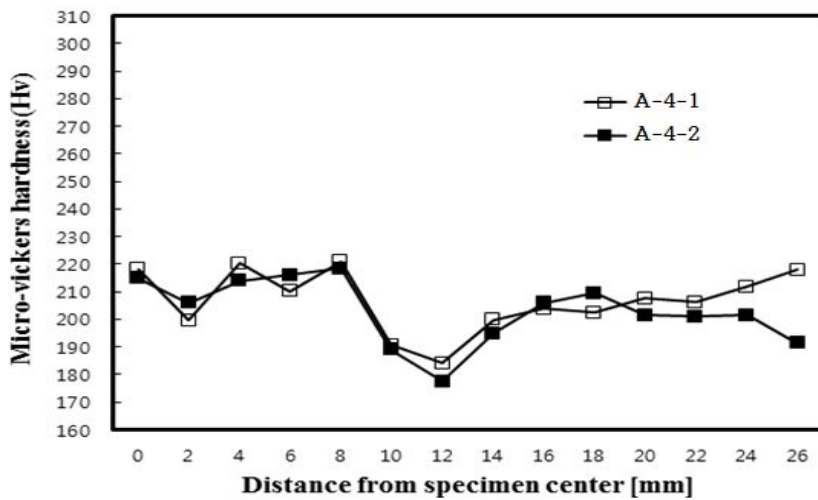


Fig. 4-8. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding shielding in constraint welding

Figs. 4-9는 보호가스량을 15 l/m, 20 l/m에 따른 용접부 경도시험에서 얻은 비커스경도값을 전체적으로 나타낸 것이다. 일반 강의 용접부 경도분포는 열영향부가 가장 높게 나타난다. 그러나 ATOS 80 고장력강 용접부에 나타난 경도 값은 반대로 열영향부에서 하락하고, 용착부에서는 높게 나타났으며, 모재 쪽으로 갈수록 약간 상승되는 것을 알 수 있다.

전체적으로, 보호가스량 15 l/m로 보호한 시편이 20 l/m보다 조금 안정되게 경도 값을 나타낸 것을 볼 수 있다.

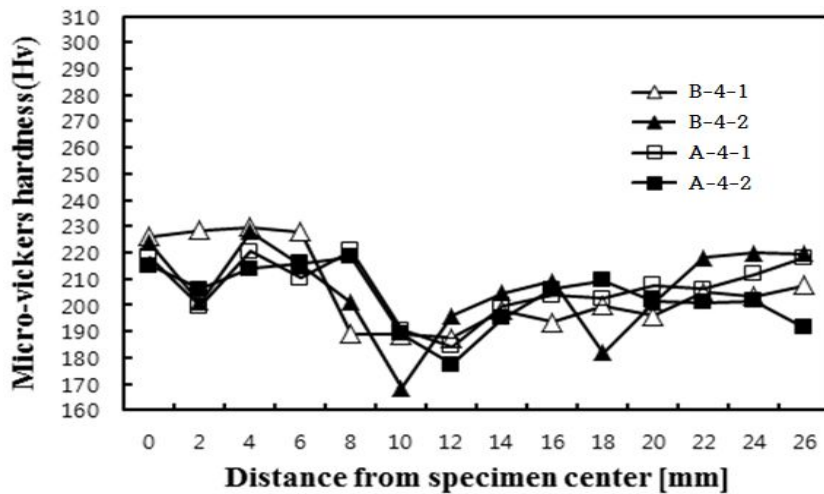


Fig. 4-9. Hardness distribution in welding according to shielding gas amounts of welding shielding

4.3 용접조건에 따른 용접부의 충격치 특성

충격시험은 시험편의 용접선 가로 방향으로 용착부(WMZ)를 샤프피 충격시험기로 측정하였고, 그 실험 결과는 Table. 4-3에 나타내었다.

Table 4-3. Charpy impact test result value of ATOS 80 high tensile steel weldment

X-film NO.	Pendulum angle [°]	Max angle [°]	Impurse amount [kgf·mm]	Area [cm ²]	Strength [kgf·mm/cm ²]
A-4-1	140.19	93.95	19932.52	0.8	24.92
A-4-2	140.19	92.72	20547.94	0.8	25.68
A-5-2	140.19	109.68	12241.29	0.8	15.30
B-4-1	140.19	74.79	29441.66	0.8	36.80
B-4-2	140.19	68.55	32408.17	0.8	40.51
B-5-2	140.19	78.83	27469.86	0.8	34.34

4.3.1 용접부의 패스 수에 따른 충격치

용접이음의 패스 수에 따른 충격시험은 각 충격시험편 용접이음부의 패스 수에 따라 Table. 3-3과 같이 비구속 용접과 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다.

Fig. 4-10에서 보면 패스 수에 따른 용접조건에서는 보호가스 종류와 구속 상태와는 관계없이 5패스로 용접한 시험편보다 4패스로 용접한 것이 충격 강도가 높게 나타난 것을 알 수 있다.

5패스로 용접한 시험편의 충격치가 낮은 것은 용접부에 용접열을 더 많이 주므로 탄소당량이 높은 고장력강의 조직이 미세화되므로 메짐성이 증가되어 충격하중에 견디지 못한 것으로 사료된다.

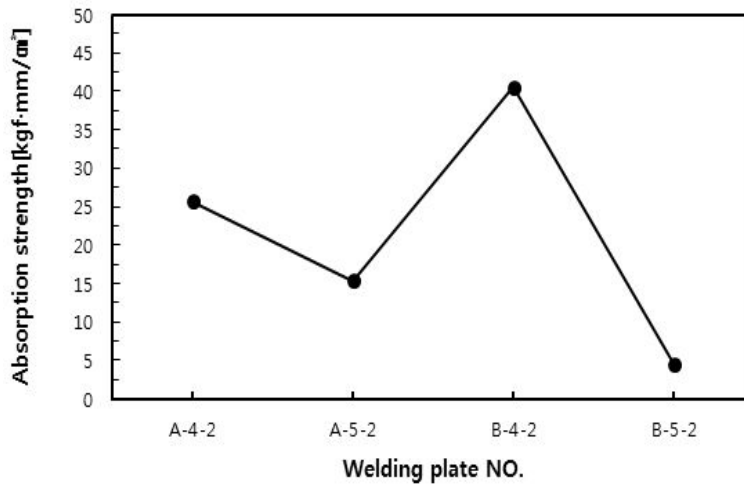


Fig. 4-10. Result of impact test according to number of welding pass

4.3.2 용접부의 보호가스량에 따른 충격치

용접부 보호가스의 양에 따른 충격시험은 각 충격시험편의 용접부 보호가스 양에 따라 Table. 3-4와 같이 비구속 용접과 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다.

Fig. 4-11은 보호가스량에 따른 용접조건에서의 충격치를 나타낸 것이다. 이 중 보호가스량 20ℓ/m로 비구속용접한 시험편이 충격강도가 가장 높게 나타났다. 비구속 상태에서는 용접부의 보호가스량이 20ℓ/m인 용접시험편이 충격강도가 높게 측정되었고, 구속 상태에서의 용접부는 보호가스량이 20ℓ/m인 용접시험편이 충격강도가 높게 측정되었다.

보호가스량이 20ℓ/m일 때의 용접조건이 가장 적당하다 사료되며, 구속용접에서는 보호가스량 15ℓ/m가 충분하지만, 비구속 용접에서 보호가스량이 적어 용접부가 제대로 보호하지 못하여 충격치가 낮게 나온 것으로 사료된다.

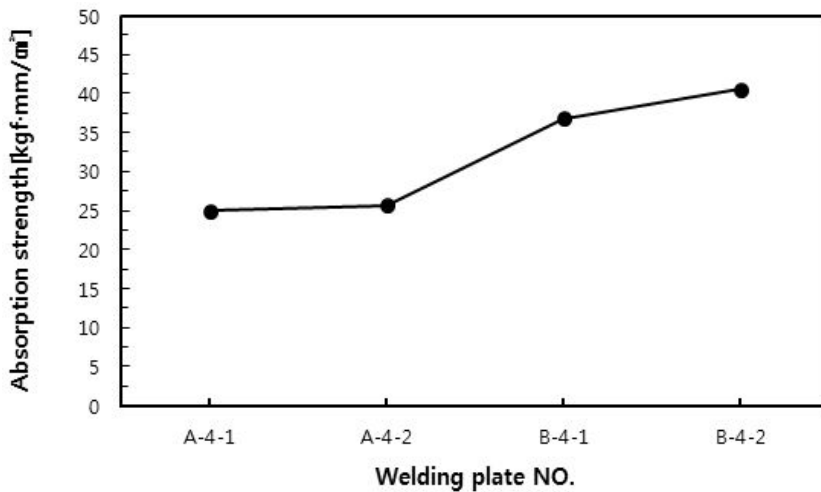


Fig. 4-11. Result of impact test according to amounts of shielding gas

제 5 장 결 론

ATOS 80 고장력강을 용접조건에 따라 플럭스 코어드 아크 용접하여, KS 규격에 따라 준비한 시험편을 인장강도시험·경도시험·충격시험의 기계적 특성을 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 인장강도는 비구속 상태에서 4패스와 5패스는 비슷한 인장강도값을 보였고, 구속상태에서는 4패스가 월등히 높았다. 4패스에서 용접패스 수가 적어 열영향이 적었기 때문이라 사료되며, 보호가스량에 따른 결과는 15ℓ/m와 20ℓ/m가 비슷한 값을 보였다. 4패스가 5패스보다 적합한 용접조건이라 사료된다.

2. 보호가스량 15ℓ/m로 보호한 시편이 20ℓ/m보다 더 안정된 경도값을 얻을 수 있었다.

3. 충격시험은 비구속 용접상태에서 4패스로 보호가스량 20ℓ/m에서 충격치가 가장 높았으며, 구속용접상태의 5패스, 20ℓ/m에서 가장 낮았다. 보호가스량이 20ℓ/m일 때는 난류현상으로 용접부가 보호받지 못하여 취약했던 것으로 사료된다.

4. 인장시험, 비커스경도시험, 샤르피 충격시험의 결과를 통해 ATOS 고장력강의 용접조건에 따른 기계적 특성을 살펴 본 결과 작업환경에 따라 차이가 있으나, 비구속 용접에서 4패스로 보호가스량을 20ℓ/m 주었을 때의 용접 조건이 가장 최적의 조건이라 사료된다.

참고문헌

- (1) Bang, H. S., Kang, S. W., Kim, J. M., “A Study on the Optimization of Shape of Weld Joints”, Journal of the Korean Welding Society, pp. 70~77, 1997.
- (2) Howard B. Cary, “New Welding Engineering”, Fifth Edition, p. 664, 2002.
- (3) Cary. H. B., 1979, Modern Welding Technology, Prentice Hall, Inc., p. 11.
- (4) The Korean Welding and Joining Society, 2002, Welding and Joining Dictionary, The Korean Welding and Joining Society, p. 135.
- (5) Leonard, P. C., Welding Handbook. Eight Edition, American Welding Society, Vol. 1, pp. 152~153, 1987.
- (6) KR Rules and Regulations, “Material and Welding”, KR Engineering, Vol. 2, pp. 58~59, 1998.
- (7) Kim, J. G., Choi, N. S., Kim, T. W., “Mechanical Material”, Moonundang, p. 251, 2009.
- (8) Kim, H. T., Hwang, S. H., Nam, S. W., “Study on Low Cycle Fatigue Behavior of AISI 304L Austenite Steel of Weld Zone”, The Korean Welding and Joining society, Vol. 2, NO. 1, pp. 49~57, 1984.
- (9) Lee, Y. G., Lee, G. Ch., Kim, J. S., Han, D. S., Oh, S. T., Lee, B. Y., “A Study on the High Temperature Tensile Characteristics of Lap Weld of Cr Ferritic Stainless Steels”, The Korean Welding and Joining society, Vol. 26, NO. 5, pp. 60~65, 2008.
- (10) Shin, “A study on the effect of welding after a weld zone on mechanical properties”, Engineering Master’s Degree Thesis, Chungju University Industrial Management Graude School Material Engineering, 1989.
- (11) Suk, C. S., Kim, S. Y., and Park., G. H., “Response of Welding Residual Stress and Fatigue Crack of development,” Journal of Mechanical Science and Technology of the Society, Vol. 23, No. 9, pp. 21~26, 1999.
- (12) The Japan Society of Engineers, “The Fracture Example and Interpretation Technology of Machinery Structure”, Technical Data, 1984.
- (13) Cho, K. S., 2008, “Welding Specimen of Radiographic Examination”, The Korean Welding and Joining society, Vol. 21, No. 6, pp. 4~9.

(14) AWS welding Handbook. 5thed., section on, pp. 15~20, 1962.