

석유시추용 인코넬 625강의 FCAW용접 특성에 관한 연구

박경동[†] · 진영범^{*} · 박형동^{*}

부경대학교 기계공학부 · ^{*}부경대학교 기계공학부 대학원
(2005. 3. 21. 접수 / 2005. 8. 30. 채택)

A Study on the Characteristics of Inconel 625 for Casing and Tubing by FCAW Process

Keyung-Dong Park[†] · Young-Beom Jin^{*} · Hyoung-Dong Park^{*}

Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University

^{*}Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Pukyong National University

(Received March 21, 2005 / Accepted August 30, 2005)

Abstract : Inconel 625 is useful in variety of industrial applications because of the resistance to attack on various corrosive media at temperature from 200°C to over 1090°C, in combination with good low and high temperature mechanical strength. Recently, this material is also used widely in offshore processing piping in order to extend the maintenance term and improvement the quality of anti-corrosion. In general, high quality weldments for this material are readily produced by commonly used processes. Not all processes are applicable to this material group, Ni-alloys. Metallurgical characteristics or the unavailability of matching, position or suitable welding process. Nowadays, the flux cored wire is developed and applied for the better productivity in several welding position including the vertical position. In this study, the weldability and weldment characteristics(mechanical properties) of inconel 625 are considered in FCAW (Flux Cored Arc Welding) associated with the several shielding gases(80%Ar+20%CO₂, 50%Ar+50%CO₂, 100%CO₂) in viewpoint of welding productivity.

Key Words : high temperature tensile, casing and application, FCAW, shield gas, anti-corrosion

1. 서 론

20세기 들어와서 항공우주 산업, 원자력 산업, 파워플랜트 산업, 석유화학 산업 등의 첨단산업 분야에서 초내열합금이 기본적인 구조재료로 많이 사용되고 있다¹⁾. 그 중 Ni기 합금은 규칙격자(FCC)를 갖는 오스테나이트상의 석출현상을 이용한 강석출 경화형 합금으로서, 초내열합금 중에서도 가장 강하며, 가스터빈의 블레이드, 디스크, 연소실 등과 같은 고온, 고응력을 받는 주요부품의 구조용 재료로 널리 사용되고 있다^{2,3)}. 그리고 섭씨 980°C에서도 질기고 강한 성질이 있으며, 특히 산화, 부식에 잘 견디고 인상용액에 강하다. 때문에 화학 및 요염방지 시설용 배관, 밸브 해상장비에 사용된다.

Inconel 625강은 용접성이 탁월하며 적용되는 용접기법은 주로 GTAW-용접이 사용되고, SMAW, GMAW, SAW, FCAW등의 용접법이 일부 사용되고 있다^{4,5)}. FCAW 용접기법의 경우, 용접재료의 개발이 쉽지 않아서, Butt 용접은 불가능하고, 아래보기 Fillet 용접만 가능할 정도로 용접재료의 개발이 늦었다^{6,7)}. 그러나 최근에 와서 Vertical-up 용접자세까지 가능한 용접재료가 개발되어 점차 사용빈도가 높아지고는 있지만 아직도 활발한 연구가 진행되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 최근에 많이 개발되고 있는 Inconel FCAW(Flux Core Wire)용접재료를 사용하여 용접의 작업성을 높이고 용접부의 품질을 향상시킬 수 있는 용접기법을 개발하여 생산현장의 용접생산성을 향상시키고자 용접 중에 사용하는 보호가스의 혼합비에 따른 Inconel 625강의 기계적 성질 및 고온인장 특성에 관해 연구하고자 한다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
parkkd@pknu.ac.kr

2. 실험

2.1. 실험재료

본 연구에서 사용된 시험편은 대구경 파이프 및 박판의 용접구조용 재료로 널리 사용되고 있는 Inconel 625강이며, 두께 19mm, 직경은 14"파이프를 사용하였다.

이 재료의 화학적 성분은 Table 1과 같고, Table 2는 기계적 성질을 나타내었다. 용접방법은 GTAW와 FCAW로 사용하였는데, 용접하기 전에 시험을

Table 1. Chemical composition of Inconel 625 (wt%)

Material	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Fe	Nb	Mo	Co
Inconel 625	0.15	0.12	22.3	60.4	0.21	3.9	3.4	9.1	0.05

Table 2. Mechanical properties of Inconel 625

Material	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV)
Inconel 625	948	556	50.1	241~267

Table 3. Chemical composition of filler metal (wt%)

Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Fe	Nb	Mo	Cu
0.38	0.15	21.5	61.8	0.17	3.21	3.58	9.82	0.03

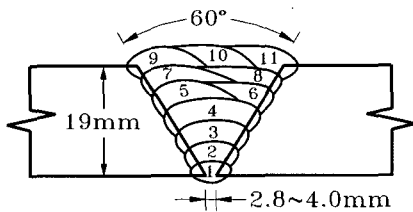


Fig. 1. Schematic diagram of specimen and welding procedure.

Table 4. Welding parameters and procedure

Pass No.	Welding Process	Welding Parameter			Heat Input(KJ/cm)	Interpass Temp.(°C)
		Current (A)	Volt(V)	Speed (CPM)		
1	GTAW	100	11	65.2	12.7	19
2	GTAW	160	13	10.9	17.0	51
3	FCAW	190	27	22.7	13.6	33
4	FCAW	200	28	21.4	15.7	78
5	FCAW	190	27	21.1	14.6	94
6	FCAW	190	27	20.8	14.8	58
7	FCAW	190	27	25.4	12.1	117
8	FCAW	190	27	24.8	12.4	136
9	FCAW	180	26	22.2	12.6	58
10	FCAW	180	26	23.0	12.2	79
11	FCAW	180	26	22.6	12.4	103

압연방향과 직각으로 60° V-Groove로 기계가공한 후 1층과 2층에는 GTAW로 파이프를 45°로 고정하고 라운드 용접을 하고 나머지 층은 FCAW로 파이프를 회전시키면서 아래보기 자세로 용접을 하였다. Table 3에 FCAW 용가재의 화학조성을 나타내었고, Table 4에 용접조건을 나타내었다. Fig. 1은 시험편의 형상과 용접순서 및 비드 형상을 나타내었다.

2.2. 용접작업성 측정

FCAW 용접보호가스 종류에 따른 용접작업성의 차이점을 관찰하였는데, 시험 전에 예상했던 일반적인 용접재료 특성과 유사한 결과(아크안전성, 비드퍼짐성 등)를 나타내었다. 기본적인 용접성 보호가스 세 종류 모두 용접하는데 무리가 없는 비교적 양호한 결과를 보여주었다. 먼저, 스패터 발생량과 용접성 측면에서는 80%Ar+20%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 100%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였으며 50%Ar+50%CO₂ 보호가스는 중간적인 성질을 나타내었다. 그러나 송금성 측면에서는 100%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 80%Ar+20%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였다. 이에 대한 용접작업성 시험 결과를 Table 5에 나타내었다. 그리고 용접 후에 비파괴검사(radiographic inspection)를 하였는데 세 종류의 보호가스 모두 결함이 존재하지 않는 양호한 결과를 나타내었다. Fig. 2는 용접 후 마크로 사진을 촬영한 것으로 세 종류의 보호가스 모두 양호한 결과를 나타내었다. 이는 본 용접에서 사용한 용접조건은 기본적으로 산업현장에서 내균열성(hot crack) 시험을 통해서 균열이 발생하지 않는 범위에서의 용접조건이기 때문에 균열이 발생하지 않는 것이며 본 연구에서는 보호가스 특성에 따른 이물질(slag) 혼입 혹은 용융 부족 및 융합불량 등을 비교의 대상으로 관찰한 결과이다.

2.3. 경도측정

용접 후에 마크로 시험을 가공하여 에칭한 후 micro vicker's hardness tester(HV5)로 경도 시험을 수행하

Table 5. Results of weldability test

Shield gas	Work ability	Bead appearance	Spatter	Weld ability	Wirefeed ability
80%Ar+20%CO ₂	△	little	●	△	
100%CO ₂	△	much	△	●	
50%Ar+50%CO ₂	△	medium	○	○	

●: very good, ○: good, △: normal

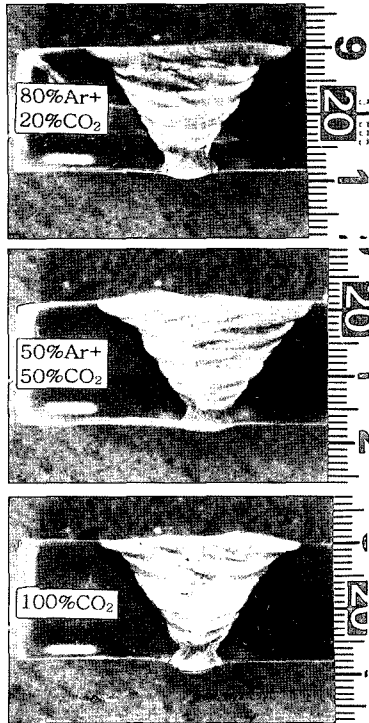


Fig. 2. Macro photograph.

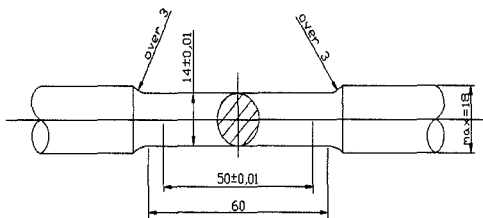


Fig. 3. Specimen for tensile test at the elevated temperature (unit: mm).

였다. 경도위치는 모재, 열영향부, 용접부 순으로 찍었고, 각 압흔 사이의 간격은 0.5mm로 하였다.

2.4. 고온인장시험

본 시험편은 고온인장강도를 측정하기 위해 14" 대구경 파이프의 용접부에서 인장 및 bending 시험에 용이하게 하기 위해 T-S방향으로 채취를 하였다.

Fig. 3의 각부 치수는 한국공업규격 금속 재료 인장 시험편(KS B 0801 제4호)의 기준에 따라 가공하였으며 고온 인장 시험을 하기 위해 Heating Chamber가 장착된 50톤 만능재료시험기(SHIMADZU, UHF50A)를 사용하였다. 실험온도는 25℃, 200℃, 400℃, 600℃, 800℃, 1000℃에서 측정 하였다.

2.5. 저온충격시험

저온충격 시험을 위해 시험편을 냉각제(액화질소, -196℃)에 침지시켰다가 재빨리 꺼내어 샤르피 시험기에 실험하였고, 샤르피 시험에서는 냉각제에서 시험편을 꺼내 평균 5초 이내에 시험을 완료할 수 있으므로 시험동안 온도상승은 크게 문제가 되지 않았다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 경도분포

Fig. 4에는 각 보호가스 종류에 따른 경도 시험의 결과를 보여주고 있는데, 용접부의 경우, 100% CO₂ 보호가스가 가장 높은 경향을 보여주고 있으며, 50%Ar+50%CO₂ 보호가스가 중간정도의 경향을 보여주고 있으며, 80%Ar+20%CO₂ 보호가스가 가장 낮은 경향을 보여주고 있다. 일반적으로 Inconel 625 강은 NACE MR0175 code를 만족하도록 되어 있으며, 이 NACE code에 따르면 경도값은 최대 345(HV)를 초과하지 못하도록 되어있는데 80%Ar+20%CO₂ 보호가스와 50%Ar+50%CO₂ 보호가스는 이 규정을 만족하지만, 100%CO₂ 보호가스는 이 규정을 만족하지 못하고 있다. 따라서 NACE MR0175 code를 따르게 되는 경우, 100%CO₂ 보호가스는 사용하기가 어려울 것으로 판단된다. 또한, 높은 경도값은 충격치에도 나쁜 영향을 미칠 것으로 판단된다.

3.2. 고온인장시험 결과

Inconel 625강에서 가장 중요한 성질인 고온인장 시험을 행하였는데, 온도는 25℃, 200℃, 400℃, 600℃, 800℃, 1000℃에서 실험하였다. 각 보호가스

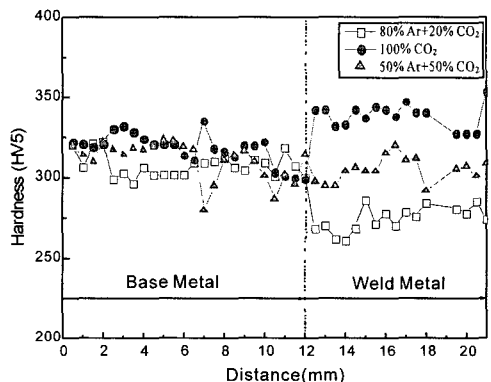


Fig. 4. Relation between hardness and distance.

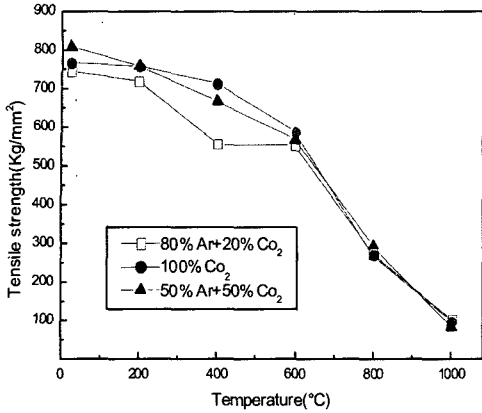


Fig. 5. Relation between tensile strength and temperature.

Table 6. Welding parameters and procedure

Gas type	Tensile strength(MPa)					
	25 °C	200 °C	400 °C	600 °C	800 °C	1000 °C
80%Ar+20%CO ₂	743	718	555	553	272	101
100%CO ₂	765	756	711	586	270	96
50%Ar+50%CO ₂	807	757	666	566	294	84

종류별 상온에서 1000°C까지 실험결과를 Fig. 5와 Table 6에 나타내었다. 25~600°C까지는 인장강도가 완만하게 감소하는 것을 볼 수 있으나, 600°C이상의 온도에서는 급격한 감소를 보여주고 있다. 보호가스 종류별로는 80%Ar+20%CO₂ 보호가스의 인장강도가 약간 낮은 경향을 보여주고 있다. 이것은 정도 분포와 마찬가지로 Ar가스가 CO₂ 가스보다 아크 에너지가 낮고, 용접 입열량이 적으며 냉각속도가 빠르기 때문에 Ar가스 함유량이 많은 80%Ar+20%CO₂ 보호가스의 인장강도가 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

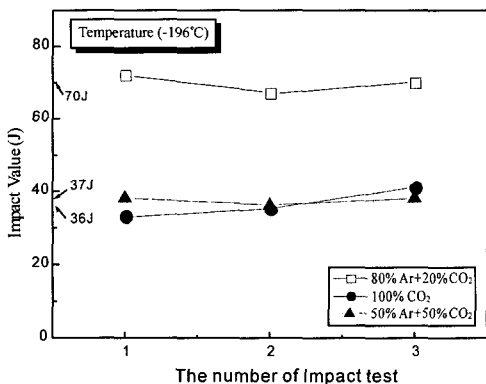


Fig. 6. Results of Charpy impact value.

3.3. 저온충격시험 결과

Inconel 625강을 극저온에서 사용하기 위한 최적의 용접조건을 알아내기 위해 -196°C로 냉각된 시험편을 충격시험 하였다. Fig. 6에는 충격시험 결과를 나타내었는데, 80%Ar+20%CO₂ 보호가스에서 약 70J 정도의 가장 양호한 결과를 나타내었고 50%Ar+50%CO₂ 보호가스와 100%CO₂ 보호가스는 약 35J 정도로 비슷한 결과를 볼 수 있다.

3.4. 파단면 관찰

Fig 7, 8, 9는 상온에서 1000°C까지의 온도에서 실험 후 파단면을 SEM(scanning electron microscope) 촬영한 사진이다.

사진에서 볼 수 있듯이 각 보호가스 모두 상온에서 600°C까지는 딴플(dimple)형태의 전형적인 연성파면을 보여 주고 있다. 그러나 인장강도 값이 급격히 낮아진 800°C에는 세 보호가스 모두 약간 산

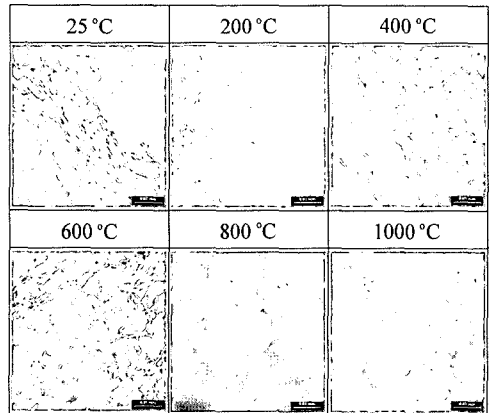


Fig. 7. SEM fractography after tensile test(80%Ar+20%CO₂).

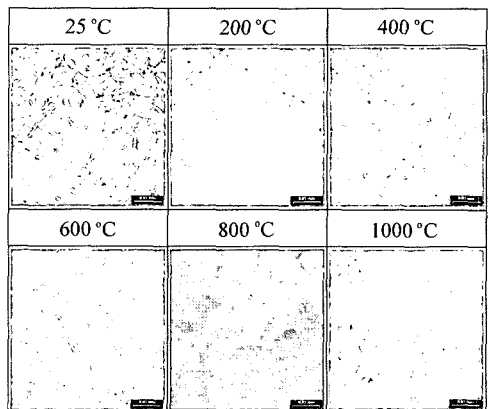


Fig. 8. SEM fractography after tensile test(100%CO₂).

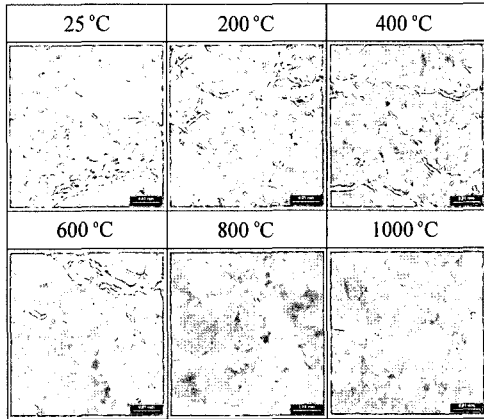


Fig. 9. SEM fractography after tensile test(50%Ar+50%CO₂).

화되었으며, 1000°C에서는 모두 산화 되어 있는 것을 볼 수 있다.

4. 결론 및 토의

Inconel 625강의 FCAW 용접 보호가스 종류에 따른 용접 특성을 검토하였다. 보호가스 종류는 80%Ar+20%CO₂, 50%Ar+50%CO₂, 100%CO₂ 보호가스의 3종류를 사용하였다. 실험에 따른 결과를 살펴보면 다음과 같다.

1) 용접작업성에서 세 종류의 보호가스 모두 비교적 양호한 결과를 보여주었으며, 스패터 발생량 측면에서는 80%Ar+20%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 100%CO₂ 보호가스 가장 열등하였다. 50%Ar+50%CO₂ 보호가스는 중간적인 성질을 나타내었다. 그러나 송급성 측면에서는 100%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 80%Ar+20%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였다.

2) 경도시험은 용접부의 경우, 100%CO₂ 보호가스가 가장 높은 경향을 보여주고 있고, 80%Ar+20%CO₂ 보호가스가 가장 낮은 경향을 나타내었는데 이는 Ar가스가 CO₂ 가스보다 아크 에너지가 낮고, 용접 입열량이 적으며 냉각속도가 빠르기 때문이다. 그러나 NACE MR0175 code가 적용되면, 100%CO₂ 보호가스는 경도값이 345(HV)를 초과하는 값이 있기 때문에 사용하기가 어려울 것으로 판단된다.

3) 25°C에서는 50%Ar+50%CO₂ 보호가스가 80%Ar+20%CO₂, 100%CO₂ 보호가스 보다 조금 높게 나타났으나 200°C에서는 100%CO₂ 보호가스와 같은 인장강도를 유지하였으며, 200°C에서 600°C 사이에서는 100°C 보호가스 인장강도가 높은 것으로 나타났다. 600°C 이상의 고온에서는 보호가스의 종류와 상관없이 모두 고온인장강도가 급격히 감소함을 알 수 있었다. 그리고 용접성, 경도 시험에서는 80%Ar+20%CO₂ 보호가스가 가장 양호한 결과를 보여 주었으므로 가장 우수한 것으로 판단된다.

4) 저온충격 시험을 통해서 알 수 있듯이 80%Ar+20%CO₂ 보호가스가 가장 높은 충격강도를 나타냈다. 따라서 Inconel 625강을 극저온에서 사용하려면 취성을 고려하여 80%Ar+20%CO₂ 보호가스를 사용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

감사의 글 : 본 논문은 부경대학교 두뇌한국21 사업에 의하여 일부 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Gielask, M. J. "The Welding and Solidification Metallurgy of Alloy 625", Welding Journal, Vol. 70, 49~56, 1991.
- Gielask, M. J. and Headley, T. J. "The Welding Metallurgy of Custom Age 625 Plus Alloy", Welding Journal, Vol. 68, 473~482, 1989.
- Dupont, J. N. "Solidification Metallurgy of an Alloy 625 Weld Overlay", Metallurgical and Material Transactions A, Vol. 27A, 612~620, 1993.
- The ASTM International Handbook Committee, "Heat-Resistance Material", 473~482, 1989.
- Lee, B. Y. "Welding Construction System", Journal of KWS, Vol. 16, 38~45, 1991.
- Dupont, J. N. "Solidification and Welding Metallurgy of Experimental Ni Base Alloys Containing Nb, Si and C", Ph.D. These, Lehigh University, 6~12, 1993.
- Zhao, Q. H. and Wood, W. E. "Microstructural Analysis of Ni Alloy 625 Cladding over Carbon Steel", Proc. of 3rd Int. Conf. International Trends in Welding Science and Technology, 339~443, 1992.