

극저온 환경에 적용되는 INCONEL 718합금의 GTAW 기계적 특성 평가

김기홍* · 문인상** · 이병호*** · 이수용**

Mechanical Properties Evaluation of GTAW for INCONEL 718 alloy apply to Cryogenic Condition

Kihong Kim* · Insang Moon** · Byungho Rhee** · Sooyong Lee**

초 록

INCONEL 718합금은 상온, 고온 및 저온환경에서 기계적 특성이 아주 우수하다. 상온에서의 모재 강도는 약 900MPa이며, 열처리 후 시효경화처리에 의해 강도가 약 1300MPa까지 증가한다. 이러한 INCONEL 718합금의 기계적 특성은 시험결과에서도 유사한 값을 나타내었고, GTAW 용접부의 상온 기계적 특성도 모재보다 우수한 강도를 나타내었다. 또한 저온에서의 기계적 특성은 모든 시험조건에서 상온보다 높은 강도를 나타내었으며, 열처리 모재시편과 용접시편은 1400MPa에 달하는 고강도를 나타내었다. 이러한 결과를 바탕으로 INCONEL 718합금의 저온 기계적 특성이 우수한 것을 증명하였고, 용접성 또한 모재의 특성과 같이 상온 및 저온 특성이 우수한 것을 알 수 있었다. INCONEL 718합금과 STS 316L의 이종접합의 경우에도 -100℃ 환경의 인장강도가 상온보다 300MPa 이상 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서, INCONEL 718합금은 100℃ 이하부터 일정온도까지는 기계적 특성이 계속 증가 할 것으로 사료되며, 극저온 고압 상태로 공급되는 산화제 배관 제작에 적합한 소재로 판단된다.

Key Words: INCONEL 718 alloy, Cryogenic Tensile Test, Rocket Engine(액체로켓엔진), LOx Pipe (산화제배관), High Strength Alloy, Gas Tungsten Arc Welding

1. 서 론

터보펌프를 장착한 액체로켓엔진은 엔진 구동시 고압으로 승압 된 산화제와 연료가 연소기로 공급된다. 특히 산화제측은 극저온 고압상태로 공급되므로 온도, 압력, 진동 등의 환경에 적합한 산화제 배관을 설계하여야 한다. 따라서, 액

체로켓엔진에 사용되는 액체 산소용 배관은 극저온 환경에서의 물성과 고압상태에서도 내구성이 양호한 소재로 개발되어야 한다.

Ni기 초내열합금의 하나인 INCONEL 718은 내식성, 용접성, 피로 및 크리프 특성이 우수한 소재로 잘 알려져 있다. 또한, 극저온에서 고온까지의 기계적 특성이 우수하여 Rocket Motor Casing이나 초전도 구조재 등의 저온 구조물로 사용되며, 액체수소 온도인 -253℃에서 650℃까지의 넓은 온도범위에 걸쳐 적용되고 있다. 뿐만 아니라, 용접부의 악영향을 끼치는 수소취성에

* (주)비즈로테크 우주항공팀
** 한국항공우주연구원 미래기술연구실
*** (주)비즈로테크 우주항공팀 대표이사
연락처, E-mail : khkim@vitzrotech.com

대한 저항성과 응력부식 저항성이 양호하며, 용체화처리 및 시효처리에 따라 여러 수준의 기계적 강도 값을 가질 수 있어 우주항공산업, 원자력산업, 석유화학공업 등 사용 용도가 매우 다양하다.^{1,2}

따라서, 본 연구에서는 극저온 환경에 유용한 INCONEL 718 용접부의 기계적 특성을 평가하여, 산화제 배관 제작에 적용 타당성을 규명하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 사용소재

본 시험에 사용된 소재는 2 mm 두께의 INCONEL 718 합금으로, 화학 조성 및 기계적 특성을 표1과 표2에 나타내었다.

INCONEL 718의 용접은 GTAW(Gas Tungsten Arc Welding)를 적용하였으며, Shield gas는 고순도 Ar gas를 사용하였고, 용접전류는 125 mA, 이송속도 30 cm/min조건으로 용접을 실시하였다. 용접 후 열처리는 H₂ 분위기에서 Solution Treatment 1060°C · 1hour, Aging

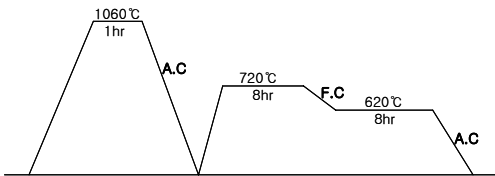


Fig. 1. Heat treatment of INCONEL 718 Alloy.

Table.1. Chemical composition of INCONEL 718 Alloy.(unit : wt%)

	C	Mn	Fe	Cr	Al
In-718	0.03	0.11	17.74	18.66	0.60
	Ti	Mo	Nb	Ni	기타
	0.93	2.90	5.00	bal.	5.00

Table 2. Mechanical Properties of INCONEL 718.

	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	E (%)	HRB
In-718	457.8	918.4	50.5	94.2
S-A	1153.5	1390.7	22.4	114

*S-A : Solution Treatment + Aged

720°C · 8hour + 620°C · 8hour 처리 후 상온까지 Air cooling하였다.(Fig. 1)³

인장시험은 상온과 저온(-50°C, -100°C) 환경에서 5가지 조건으로 구분하여 실시하였으며, 시험 조건은 다음과 같다.

- (1) I7-A : INCONEL 718 As-received
- (2) I7-S : INCONEL 718 Solution Treatment + Aged
- (3) I7-G : INCONEL 718 GTAW-제살용접
- (4) I7-F : INCONEL 718 GTAW-용접봉 용접
- (5) IS-G : INCONEL 718 + STS 316L GTAW

3. 결과 및 고찰

3.1 상온 기계적 특성

INCONEL 718의 인장시험 결과 모재 강도는 Mill Sheet 상에 나타난 918.4 MPa 값과 유사한 강도를 나타내었다. 하지만 용체화 처리 및 시효

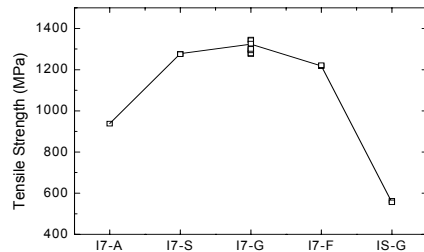


Fig. 2. Tensile Strength(UTS) of INCONEL 718 Alloy.

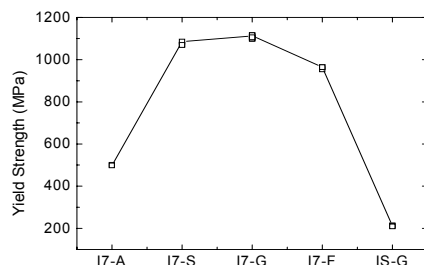


Fig. 3. Yield Strength of INCONEL 718 Alloy.

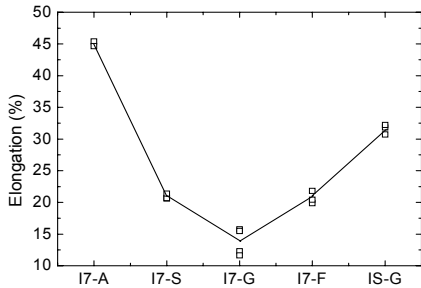


Fig. 4. Elongation of INCONEL 718 Alloy.

경화 열처리 후의 강도 값은 Mill Sheet 상에 나타난 1390MPa 보다 낮은 1290MPa로 측정된 반면, 변형률은 45%로서 유사한 결과값을 나타내었다.(Fig. 2~4)

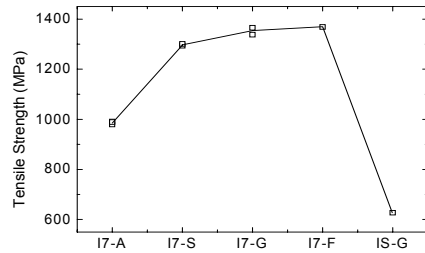
Figure. 4는 각 조건에 따른 변형률을 나타낸 것으로, 열처리 후 변형률이 급격히 감소하는 것을 확인하였다.^{1,2} 이는 시효경화 열처리에 의하여 변형률이 감소된 것으로, 열처리 전과 후의 항복강도와 인장강도 값을 비교하면, 열처리 전의 경우(I7-A) 항복강도와 인장강도의 차이가 440MPa인 것에 비해, 열처리 후(I7-S)는 200MPa로 감소하였음을 확인하였다.(Fig. 2~3)

INCONEL 718의 용접부는 결함이 없는 양호한 비드를 형성하였으며, 제살용접부(I7-G)의 인장강도는 열처리된 모재(I7-S)보다 높은 1310 Mpa를 나타내었고, 일부 시편에서는 모재파단이 발생하였다. 반면, ERNiFeCr-2 용접봉을 사용한(I7-F) 용접부는 1220MPa를 나타내었다.

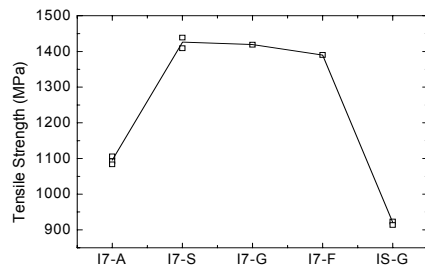
INCONEL 718합금과 STS 316L합금의 제살용접 시편은 STS 316L에서 파단이 발생하였다. STS 316L의 기계적 특성은 항복강도가 290MPa, 인장강도 560MPa로서 시험결과와 비교하면, 항복강도는 200MPa로 저하되었으나, 인장강도는 유사한 값을 나타내었다.

3.2 저온 기계적 특성

INCONEL 718합금의 저온 인장강도는 -50℃에서 1000MPa를 나타내었으며, 열처리된 모재의 인장강도는 1300MPa를 나타내었다. 그리고 -10



a)



b)

Fig. 5. Tensile Strength of INCONEL 718 Alloy apply to Cryogenic conditions. a) -50℃, b)-100℃

0℃에서는 모재 및 열처리 시편의 인장강도가 각각 1100MPa, 1400MPa를 나타내었으며, 온도가 감소할수록 INCONEL 718합금의 인장강도는 증가함을 알 수 있었다.

극저온 환경에서 INCONEL 718합금의 용접부는 -50℃, -100℃에서도 양호한 접합강도를 나타내었다. 제살 용접부는 -50℃ 접합강도가 상온과 유사한 1340MPa를 나타내었으며, -100℃에서는 1400MPa 이상의 고강도를 나타내었다. 그리고, 용접봉 접합시편도 제살 용접부와 유사한 1400MPa의 고강도를 나타내었으며, 열처리 모재 강도와 유사하다. 따라서, 용접시편의 상온 시험 결과와 저온시험 결과를 바탕으로 산화제 배관의 용접은 용접봉을 사용하지 않고, 제살용접만으로도 충분히 고강도의 특성을 보유할 수 있다.

INCONEL 718합금과 STS 316L합금의 이중접합부 인장강도는 -100℃에서 900MPa를 나타내어

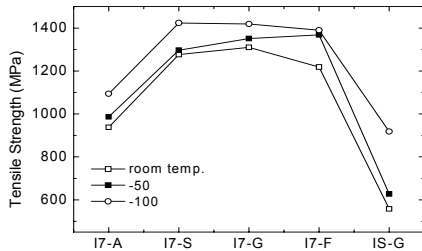


Fig. 5. Tensile Strength of INCONEL 718 Alloy to Compare Room Temperature with Cryogenic Conditions.

모재의 상온강도에 비해 크게 증가하였다. 상온 인장시험 결과와 마찬가지로 이종접합부의 접합강도 또한 저온환경에서 향상되었으며, 배관 제작 시 압력이 적은 부위에는 이종재료의 적용이 적합한 것으로 사료된다.

INCONEL 718합금의 상온시험 결과와 저온시험 결과를 비교하면, Fig 5에서 보는 바와 같이 상온보다 저온에서의 인장강도가 증가하는 것을 확인할 수 있으며, I7-F 시편을 제외하고는 -50°C 보다 -100°C 환경에서 인장강도가 크게 증가함을 알 수 있었다.

4. 결 론

극저온 환경에 적용되는 INCONEL 718 합금의 기계적 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

극저온 환경에 적용되는 INCONEL 718합금은 상온에서 온도가 감소할수록 인장강도가 계속 증가하였고, -100°C에서는 최고값을 나타내었다. 그리고, -100°C이하의 온도에서 일정온도까지는 인장강도가 계속 증가할 것으로 사료된다. 따라서, 산화제 배관의 제작 시 극저온 및 고압 환경에서 기계적 특성이 양호한 INCONEL 718합금이 적합한 소재로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 최중환, 이기룡, 조창용, 김인배, "INCONEL 718 초내열 합금의 열처리에 따른 미세조직 변화", 한국열처리공학회, Vol.5, No.2, 1992
2. 김종덕, "초내열합금 INCONEL 718의 용체화처리 조건에 따른 미세조직 및 기계적 성질", 대한용접접합공학회, 2005년도 추계 학술발표대회 발표논문
3. "용접·접합 편람", 대한용접접합학회, pp 313