

PTA를 이용한 Ni계 표면개질층의 희석률에 따른 HAZ 액화균열의 거동

Behavior of HAZ liquation cracking with dilution in PTAW Ni-base superalloys overlay

안용수*, 윤병현**, 김형준**, 이창희*

* 한양대학교 재료공학과

** 한양대학교 재료공학과, RIST

1. 서론

Inconel 625 및 718 합금의 PTA 육성용접시 가장 큰 문제는 용융금속의 응고 도중에 발생하는 응고 균열과 열영향부에서의 액화균열이며, 이들은 대부분 결정립계에 편석된 특정원소들(Nb, Mo, Ti, C 등)에 의한 저융점상(γ /NbC, γ /Laves) 형성이 주요 원인으로 알려져 있다.^{1), 2)} 이러한 저융점상의 양은 화학성분에 의해 결정되어진다. Inconel 625 및 718 합금의 육성층의 열영향부는 급격한 가열 및 냉각사이클 뿐아니라, 입열의 불균일과 전체 용접부의 경직성으로 인하여 구속응력을 받는다. 이와같은 응력 및 열사이클이 열영향부에서 액화균열을 일으키는 원인으로 작용한다. 용접부 가까이에서 작용하는 응력이 가장 크며, incipient melting 및 조성적 액화 (consitutional liquation)에 의해 형성된 액막이 결정립계를 취화시키고 이러한 구속응력이 취화된 결정립계에 작용하면 균열을 쉽게 발생시킬 수 있다.³⁾ 본 연구에서는 Inconel 625 및 718합금 육성층의 희석률에 따른 액화균열 특성을 파악하고 균열감수성을 비교하고자 하였으며, 균열의 생성원인을 유추하고자 하였다.

2. 실험

본 연구에서 사용한 재료는 선박용 valve seat에 이용되는 Ni계 합금인 Nimonic 80A에 PTA를 이용하여 Inconel 625 및 718 분말을 육성 용접하였다. 그리고 Inconel 625 및 718 육성층의 희석률에 따른 조성변화와 그에 따른 응고균열 양상을 관찰하기 위하여 용접조건을 조절하여 모재인 Nimonic 80A와 각각 10, 20, 30%의 희석률을 가지는 PTA 육성층을 형성시켰다. 이러한 육성층의 화학조성은 Table 1과 같다. 여기서 D는 희석률(dilution)을 나타낸다. 또 희석률에 따른 육성층의 균열 감수성을 평가하기 위하여 Vareststraint test⁴⁾를 실시하였고 변형량은 1%, 4%로 하였다. 균열시험 후 용착금속에서의 최고균열길이(maximum crack length, MCL) 및 총균열길이(total crack length, TCL)를 측정하여 주어진 변형량에서의 희석률 변화에 따른 응고균열의 특성을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

Inconel 625 및 718 합금 육성층 열영향부에서의 균열은 다층 용접부에서 먼저 용접된 용착금속이 후속용접에 의하여 열영향을 받을 때 주로 발생한다. Fig. 1은 희석률에 따른 Inconel 625 및 718의 액화균열 감수성을 total crack length(TCL)과 maximum crack length(MCL)로 나타낸 것이다. 두 합금계 모두 희석률이 증가함에 따라 TCL, MCL이 감소하는 경향을 보인다. 이는 용접 열영향부의 액화균열의 형성원인이 Nb, Mo, Ti, C 등 합금원소의 편석에 의해 결정립계에 형성된 저융점상(γ /NbC, γ /Laves)에 의한 것이기 때문이다. 희석률이 증가할수록 γ /NbC의 양은 증가하지만 γ /Laves의 양은 감소한다. 그러나 전체 저융점상의 양은 감소하는 경향을 보인다. 또한 Inconel 718 육성층에 Inconel 625 육성층보다 더 많은 양의 저융점상이 존재하므로 액화균열 감수성이 더 크게 나타나고 있다. Fig. 2는 희석률과 저융점상과의 관계를 나타내고 있다. 희석률이 증가할수록 저융점상의 양은 감소한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 Vareststraint test 후 용접열영향부에서 관찰된 전형적인 액화균열을 나타내고 있다. Inconel 625 및 718 육성층의 열영향부에서는 용접부의 용융금속이 응고할 때 형성된 편석 및 저융점상이 균열에 직접 관계하므로 균열에 관련된 조직 및 상(phase)이 용착금속과 유사할 것으로 예상할 수 있다. 그리고 용융부의 응고결정립은 열영향부 결정립의 epitaxial 성장에 의해 이루어지므로 일부 균열은 용융부위의 균열과 연결되어 있음을 관찰할 수 있다. 용접열영향부의 조직은 용융부 응고조직이 재가열되므로써 응고시 형성된 석출물이 용접 열 cycle에 의한 조성적 액화반응에 의해 결

정립계를 따라 저융점 액상을 형성하여 균열을 유발시킨 후 잔존액상들이 재응고 될 때 형성된 석출물이다. Fig. 4는 균열주위 및 결정립계에 연속적으로 존재하는 저융점상과 이 저융점상의 EDS 분석결과로부터 Nb, Mo를 많이 함유하는 상(γ /Laves)이 균열발생에 직접적으로 관련되었다는 것을 예측할 수 있다.

육성층 열영향부의 결정립계에 액상이 발생하는 기구로는 조성적 액화와 Incipient melting 현상을 들 수 있다. 조성적 액화는 용접 특유의 급 가열시 탄화물, Laves 등의 석출물과 기지조직과의 경계면에서 공정반응에 의해 액상을 형성시킨다는 것이다. 또한 incipient melting은 국부적인 편석에 의하여 용점이 낮아진 부위가 용접열에 의하여 용융이 발생하는 것이다. 그러므로 Inconel 625 및 718 육성층의 열영향부에서의 액화균열은 용접 열 cycle시 편석에 의해 용점이 저하된 결정립계의 incipient melting 및 저융점상 (Laves, NbC)이 모재와의 계면에서의 조성적액화에 의해 형성된 공정액상에 의해 취약해진 결정립계가 용융부의 응고 시 발생하는 수축응력을 견디지 못할 때 발생하는 것으로 사료된다.

4. 결론

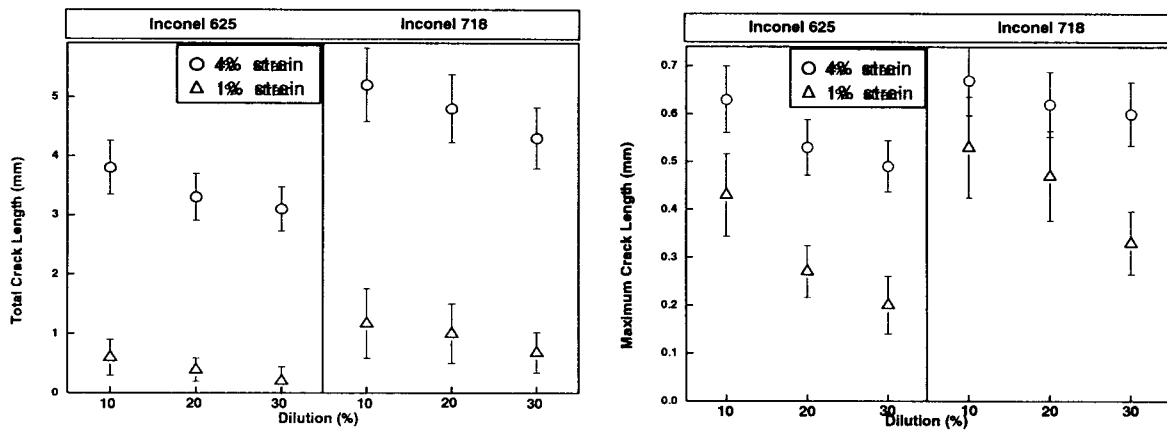
1. Inconel 625 및 718 육성층의 열영향부 액화균열은 Nb, Mo, Ti, C 등 합금원소의 편석에 의한 저융점상 및 석출물(NbC carbide, Laves phase)이 기지조직과의 계면에서 용접 열 cycle에 의하여 조성적액화(constitutional liquation) 및 incipient melting을 일으켜서 결정립을 액화시키는 것이 주요 원인이다.
2. 회석률이 증가할수록 전체 저융점상의 양이 감소하므로 액화균열 감수성은 회석률이 증가할수록 감소하는 경향을 보인다.
3. 전체적으로 Inconel 718은 625에 비해 저융점 공정상의 양이 많기 때문에 액화균열 감수성이 높게 나타난다.

5. 참고문헌

- 1) 김희봉, 이창희 : Ni-Cr-Fe 및 Ni-Fe-Cr-Mo계 합금의 용접부 균열특성에 관한 연구 - Part II 열영향부의 액화균열, 대한용접학회지, No. 15, Vol. 5 (1997), pp. 420-429
- 2) 안용수, 윤병현, 이창희 : Ni계 초내열합금의 응고균열, 대한용접학회지, No. 17, Vol. 5(1999), pp. 20-28
- 3) B. Radhakrishnan and R.G. Thompson : A phase diagram approach to study liquation cracking in alloy 718, Metall. Trans. A, Vol. 22A, (1991), pp. 887-901
- 4) C.D. Lundin, C.H. Lee : New concepts in Vrestraint testing for hot cracking, Preceedings of the JDC university research symposium, 1985, pp. 33-42

Table 1 Chemical composition of the material tested (wt%)

	Ni	Cr	Fe	Ti	Nb	Mo	C	Si
Inconel 625 D10	64.60	19.91	2.70	0.13	3.59	8.53	0.0592	0.475
Inconel 625 D20	66.79	20.52	2.31	0.55	2.82	6.59	0.0604	0.409
Inconel 625 D30	67.38	20.62	2.26	0.74	2.75	6.34	0.0670	0.351
Inconel 718 D10	58.71	17.43	16.38	1.09	4.47	2.61	0.0492	0.203
Inconel 718 D20	59.09	18.09	14.88	1.33	3.99	2.51	0.0531	0.179
Inconel 718 D30	63.84	18.18	11.87	1.55	3.47	1.89	0.0579	0.130



(a) Total Crack Length

(b) Maximum Crack Length

Fig. 1 Comparison of HAZ liquation cracking susceptibility of alloys

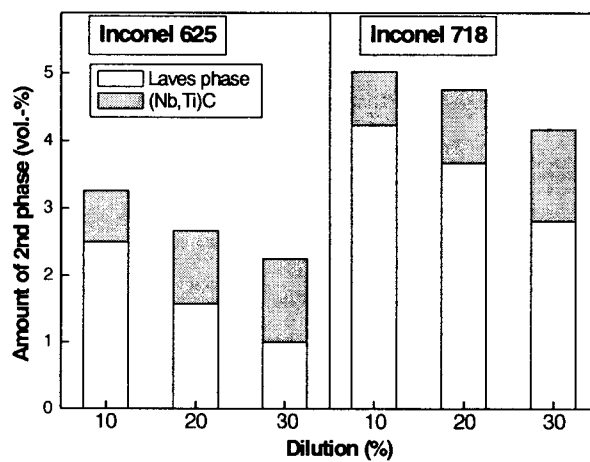


Fig. 2 The amount of eutectic phases with dilution

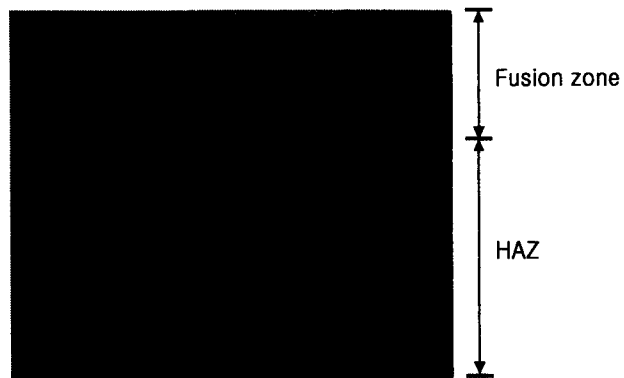


Fig. 3 Typical HAZ liquation cracking after Varestraint test

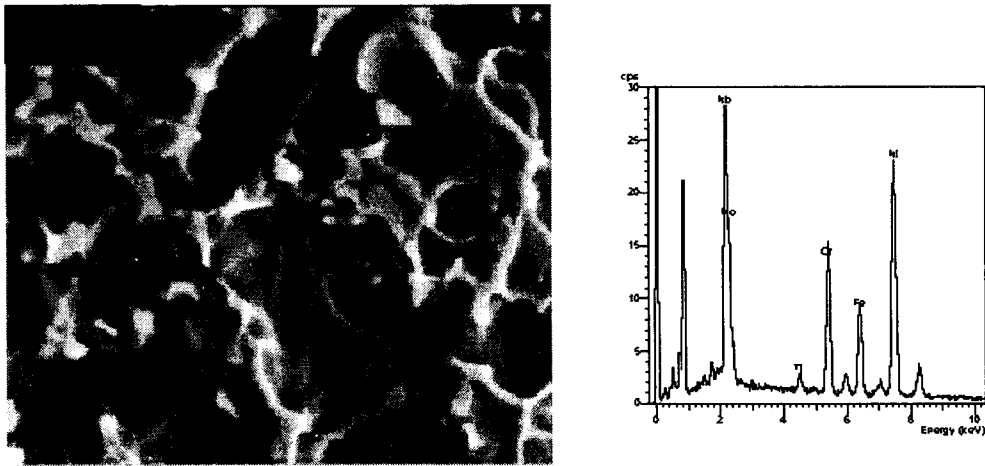


Fig. 4 HAZ liquation crack along the secondary phases and EDS analysis