

고온리튬용융염계 산화분위기에서 초합금의 부식거동

조수행, 임종호, 서중석, 윤지섭, 박성원

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150

nshchol@kaeri.re.kr

1. 서론

산화물 사용후핵연료의 금속전환공정은 고온 용융염 LiCl-Li₂O계에서 우라늄산화물을 전해환원하는 공정으로 음극에서 우라늄메탈로 환원되며, 양극에서 산소가 발생된다. 이러한 전해환원공정은 650℃ 이상의 고온에서 부식성이 강한 용융염상에서 이루어지고, 산소가 발생되어 용융염 취급장치는 가혹한 부식환경에 놓이게 됨으로 이에 적합한 용융염 취급장치 재료개발이 매우 중요하다. 본 연구에서는 산소가 발생하는 고온 LiCl-Li₂O 용융염계 분위기에서 항공기의 엔진이나 발전용 가스터빈 엔진의 고온 부품으로 사용되며, 고온강도가 우수한 Ni기 고온용 재료로 사용되는 Inconel 713LC, Inconel MA 754, Haynes 214, Haynes HR 160 초합금의 부식거동을 고찰하여 용융염부식억제형 재료개발에 필요한 자료를 도출하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에 사용한 실험재료는 상용제품으로 Table 1에 화학조성을 나타내었다. 시편의 내부결함 제거를 위해 1,050℃에서 1시간동안 가열 및 수냉 처리한 후 시편의 크기를 70 mm(L) × 15 mm(W) × 2 mm(T)(mm)으로 절단하여 950℃에서 안정화 처리하였다. 부식실험 전에 시편을 SiC paper로 일방향 연마하여 초음파 세척 후 사용하였다. 부식실험은 부식환경온도; 675℃, 부식시간; 72 ~ 216시간, Li₂O 농도; 3wt%, 혼합가스 농도; Ar-10%O₂ 분위기하에서, 혼합용융염 LiCl-Li₂O를 MgO 도가니에 넣고 아르곤 분위기에서 가열하였으며, 용융염의 온도가 675℃에 도달하면 시편을 용융염에 침지시킨 후 용융염 중에 알루미늄 튜브(6φ)를 통해 혼합가스를 공급하였다. 주어진 부식반응시간에 도달하면 시편을 용융염으로부터 분리시킨 후 아르곤 분위기에서 로냉하였다. 실험 종료 후 부식된 시편을 증류수에서 세척하여 용융염을 제거한 다음 건조로에서 24시간 이상 건조한 다음 무게변화를 측정하였다. 부식생성물의 분석, 미세조직 관찰을 위해 XRD, SEM과 EDS를 사용하여 분석하였다.

Table 1. Chemical compositions of tested superalloys(wt.%)

Alloy	Ni	Cr	Fe	Co	C	Si	W	Al	Ti	Mo
Inconel 713LC	74.0	11.57	0.10	0.08	0.05	0.02	<0.02	6.05	0.76	4.15
Inconel MA 754	77.8	20.21	0.27	-	0.05	-	-	0.32	0.44	-
Haynes 214	75.0	16.03	3.71	<0.05	0.03	0.1	<0.1	4.46	<0.1	<0.1
Haynes HR 160	36.8	28.3	<0.1	30.8	0.05	2.67	<0.1	0.09	0.53	<0.05

3. 결과 및 고찰

Fig. 1에 Inconel 713LC, Inconel MA 754, Haynes 214, Haynes HR 160 시편의 72시간 및 216시간동안 부식실험 한 시편의 부식속도를 나타내었다. 용융염분위기하에서 부식실험 후 시편의 무게감소는 합금의 구성원소가 부식매체와 반응하여 용출 또는 합금의 표면에서 부식층의 박리에 의한 것으로 무게감소가 적은 합금일수록 내부식성이 우수할 것으로 판단된다. Inconel 713LC와 Inconel MA 754는 부식층이 박리가 되지 않아 부식속도가 낮게 나타났다. Fig. 2~5에는 LiCl-3%Li₂O, 675°C, 216시간동안 부식실험 한 Inconel 713LC, Inconel MA 754, Haynes 214, Haynes HR 160 시편의 부식층 단면사진과 부식층 구성원소의 mapping 분석결과를 나타내었다. Fig. 2는 Inconel 713LC의 부식층이며, 부식층은 박리되지 않고 조밀한 Al, Ti 및 Cr계 산화물로 형성되었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 Inconel MA 754의 부식층은 박리되지 않고 조밀한 Cr계 산화물의 성장과 함께 산화층내로 Ni계 산화물이 나타났으며, 조대한 nodular 형상의 부식층이 기지금속 부근에서 관찰되며 Ti는 외부부식층 직하에 확산/농축되었다. Fig. 4는 Haynes 214의 부식층이며, 박리된 부식층에는 Fe의 농축현상이 관찰되는데, Inconel 713LC, Inconel MA 754에 비하여 외부부식층을 형성하지 못하고 박리되는 현상은 기지금속 내 Fe의 빠른 외부확산으로 인해 산화과정에서 Fe계 산화물을 형성되기 때문으로 판단된다. Fig. 5는 Haynes HR 160의 부식층을 나타낸 것이며, 전반적으로 부식층은 박리되고 모재의 표면만 관찰되었다.



Fig. 1. Corrosion rate of tested alloys. Fig. 2. Cross-sectional SEM image and elemental distribution of Inconel 713LC.

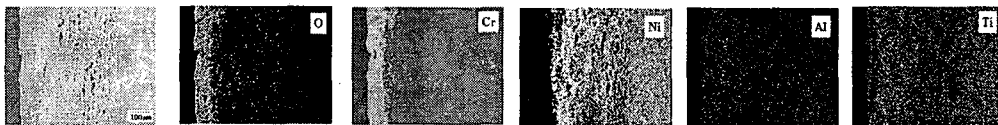


Fig. 3. Cross-sectional SEM image and elemental distribution of Inconel MA 754.

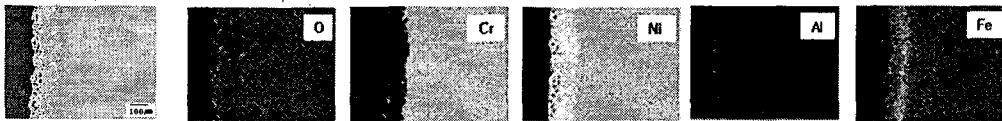


Fig. 4. Cross-sectional SEM image and elemental distribution of Haynes 214.

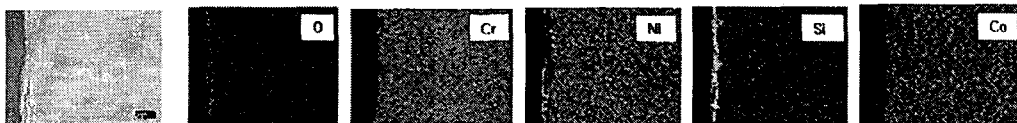


Fig. 5. Cross-sectional SEM image and elemental distribution of Haynes HR 160.