

## 고온 리튬용융염계에서 $ZrO_2-Y_2O_3$ 산화물로 코팅된 합금의 부식거동

조수행, 서중석, 윤지섭, 박성원  
 한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150  
 nshchol@kaeri.re.kr

### 1. 서론

산화물 사용후핵연료의 금속전환공정은 고온 용융염  $LiCl-Li_2O$ 계에서 우라늄산화물을 전해환원하는 공정으로 음극에서 우라늄메탈로 환원되며, 양극에서 산소가 발생된다. 이러한 전해환원공정은 650°C 이상의 고온에서 부식성이 강한 용융염상에서 이루어지고, 산소가 발생되어 용융염 취급장치는 가혹한 부식환경에 놓이게 됨으로 이에 적합한 용융염 취급장치 재료개발이 요구된다. 일반적으로 초내열합금의 사용온도의 상승에 따른 격심한 산화와 부식에 대한 대책, 고온에서의 기계적 성질 개선 등을 동시에 해결할 수 있는 합금개발은 어려운 실정이므로 각각을 별도로 개선하고 상호 적용되며, 고온에서 사용되는 재료들의 높은 열화학적 하중을 완화하기 위한 방법으로 열차폐코팅이 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 산소가 발생하는 고온  $LiCl-Li_2O$  용융염계 분위기에서 고온용 재료인 Inconel 713LC 표면에  $MCrAlY(M=Ni, NiCo)$ 의 금속간 화합물 bond coat, 기지금속과 확산층간의 결합력을 향상시키기 위한 pack cementation,  $ZrO_2-Y_2O_3$ 의 top coat으로 이루어진 코팅층과 기지금속간의 부식거동을 고찰하여 용융염부식억제형 재료개발에 필요한 자료를 도출하고자 한다.

### 2. 실험방법

본 연구에서 사용한 시편(70mm(L)×15mm(W)×2 mm(T))은 상용의 초합금, Inconel 713LC를 사용하였으며, 표면을 #60  $Al_2O_3$  grit blasting으로 조도를 높인 후, Table 1에 제시된 기지금속에 코팅 물질을 플라즈마 용사로 코팅을 하였다. 또한 용사된 피복층 표면의 Al content를 향상시키고자 Auminizing 처리를 행하였다. 부식실험은 부식환경온도; 675°C, 부식시간; 216시간,  $Li_2O$  농도; 3wt%, 혼합가스 농도; Ar-10% $O_2$  분위기하에서, 혼합용융염  $LiCl-Li_2O$ 를 MgO 도가니에 넣고 아르곤 분위기에서 가열하였으며, 용융염의 온도가 675°C에 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 제거하였으며, 부식생성물의 분석, 미세조직 관찰을 위해 XRD, SEM과 EDS를 사용하여 분석하였다.

Table 1. Characteristics of substrate and coating materials

Layer	Product	Composition(wt.%)	Process	Thickness
Substrate	Inconel 713LC	74Ni-11.6Cr-0.1Fe-6.1Al-0.8Ti-4.2Mo	Rolled/Heat Treat	2mm
Top coat	METCO 204NS	$ZrO_2-8Y_2O_3$	APS	200~250 $\mu$ m
Bond coat	AMDRY 365-1	Ni-23Co-17Cr-13Al-0.5Y	APS	100~150 $\mu$ m
	AMDRY 965	Ni-22Cr-10Al-0.1Y		

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 LiCl-3%Li<sub>2</sub>O, 675°C, 216시간동안 부식실험 한 bare Inconel 713LC 시편의 부식층 단면 사진과 부식층 구성원소의 mapping 분석결과를 나타내었다. 부식층은 박리되지 않고 조밀한 Al, Ti 및 Cr계 산화물로 형성되었으나, 외부 및 내부부식층 계면에 균열현상 및 내부부식에는 Cr 고갈이 나타났다. Fig. 2는 LiCl-3%Li<sub>2</sub>O, 675°C, 216시간동안 부식실험 한 bond 코팅된 Inconel 713LC 시편의 부식층 단면사진과 부식층 구성원소의 mapping 분석결과를 나타내었다. 외부피막이 박리된 내부피막은 Co, Ni, Al-산화물로 형성되었으며, bond coat의 구성 원소 중 Cr은 외부확산 한 것으로 나타났다. Fig. 3은 bond 및 top coat, aluminizing 한 as-coated 시편의 단면사진과 구성원소의 mapping 분석결과를 나타낸 것이다. Bond 및 top 코팅층의 접합상태는 매우 양호하며, 코팅층에 나타난 porosity는 통상 10% 미만으로 나타났다. Fig. 4에는 LiCl-3%Li<sub>2</sub>O, 675°C, 216시간동안 부식실험 한 bond 및 top 코팅된 Inconel 713LC 시편의 부식층 단면사진과 부식층 구성원소의 line profile 분석결과를 나타내었다. Top 코팅층 표면에는 Al의 외부확산으로 인한 Al-산화물을 형성하였으며, 내부에는 ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 산화물, top 및 bond 코팅층의 계면에는 Al-산화물로 구성되었다. ZrO<sub>2</sub>는 열전달계수가 낮고 열팽창계수가 금속과 유사하여 고온에서 열응력을 감소시켜 top coat로 적용되면 더욱 더 내구성 및 기지금속과의 접착력이 개선될 것으로 판단된다.

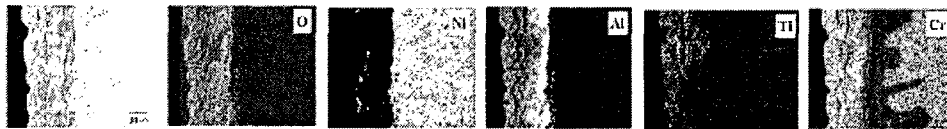


Fig. 1. Cross-sectional SEM image and elemental distribution of Inconel 713LC corroded at 675°C for 216 hrs.

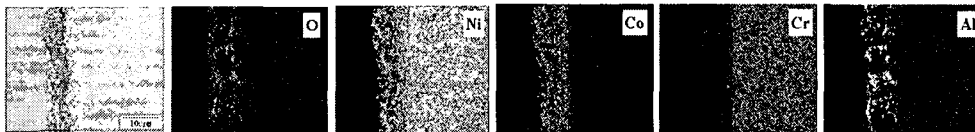


Fig. 2. Cross-sectional SEM image and elemental distribution of NiCoCrAlY coated and aluminized Inconel 713LC corroded at 675°C for 216 hrs.



Fig. 3. Cross-sectional SEM image and elemental distribution of NiCrAlY, ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated and aluminized Inconel 713LC corroded at 675°C for 216 hrs.

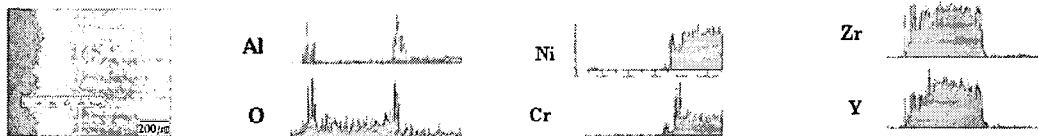


Fig. 4. Cross-sectional SEM image and line profiles of NiCrAlY, ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated and aluminized Inconel 713LC corroded at 675°C for 216 hrs.