

플라즈마 용사된 Alumina계 코팅층의 부식거동

조수행, 정명수, 조해동, 박병홍, 허진목, 이한수
 한국원자력연구원, 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 요구된다. 일반적으로 어떤 초합금도 고온에서 기계적 특성 및 내부식 특성을 동시에 만족시키는 초합금개발은 매우 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 기지금속의 기계적성질을 저해하지 않으면서 고온에서 내부식성을 향상시키기 위해서는 열차폐 코팅방법을 이용하는 것이 가장 효과적이면서 경제적인 방법으로 알려져 있다. 본 연구에서는 산소가 발생하는 고온 LiCl-Li₂O 용융염계 분위기에서 고온용 재료인 IN713LC 표면에 NiCrAlY의 금속간 화합물 bond coat, 기지금속과 확산층간의 결합력을 향상시키기 위한 pack cementation, 침식 저항성 및 열적변화에 대한 저항성이 우수한 것으로 알려진 Al₂O₃-Cr₂O₃ 산화물의 top coat으로 이루어진 코팅층의 부식거동을 고찰하여 용융염부식억제형 재료개발에 필요한 자료를 도출하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용한 시편(70mm(L)×15mm(W)×2 mm(T))은 상용의 초합금, IN713LC를 사용하였으며, 표면을 #60 Al₂O₃ 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℃, 부식시간; 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 나트륨(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 | IN713LC | 74Ni-11.6Cr-0.1Fe-6.1Al-0.8Ti-4.2Mo | Rolled/Heat Treat | 2mm |
| Top coat | METCO | Al ₂ O ₃ -50Cr ₂ O ₃ | APS | 200~250μm |
| Bond coat | AMDRY 965 | Ni-22Cr-10Al-0.1Y | APS | 100~150μm |

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 플라즈마 용사코팅에 의한 aluminizing된 bond 및 top coat의 표면미세조직을 나타낸 것이다. 용사코팅 시 대표적인 층상구조를 나타내었으며, Bond 및 top 코팅층의 접합상태는 양호하였으나 microcrack, porosity 및 oxide stringer가 나타났다. Fig. 2에는 LiCl-3%Li₂O, 675℃, 216시간동안 부식실험 한 bare IN713LC, aluminizing된 bond coat 및 top coat 시편의 무게손실을 나타낸 것이며, Aluminizing된 top coat 시편의 무게손실이 가장 낮게 나타났다. 그림 3에 675℃, LiCl-3%Li₂O, 216시간 부식실험 한 aluminizing된 bond coat 시편의 단면조직 및 구성원소의

mapping 그리고 표면의 X-선회절 분석결과를 나타내었다. 표면의 X-선회절 분석결과로부터 α -LiAlO₂와 NiO로 나타났는데, α -LiAlO₂는 aluminizing된 bond coat 시편의 최외각의 NiAl이 고온 리튬용융염에서 산소이온과의 반응으로 생성된 Al₂O₃은 부식이 진행되면서 리튬용융염계와의 화학반응에 의해 생성된 것으로 판단되며, 또한 표면에 노출된 니켈이 산소이온과의 반응으로 NiO가 형성되는 것으로 생각된다. 그림 4에 675°C, LiCl-3%Li₂O, 216시간 부식실험 한 top coat 시편의 단면조직 및 구성원소의 mapping 그리고 표면의 X-선회절 분석결과를 나타내었다. Top coat 층의 최외각의 X-선회절 분석결과에 의하면 LiAlO₂ 피크만 나타났다. 이는 top coat 층의 Al₂O₃가 부식이 진행되면서 리튬계용융염과의 화학반응에 의해 생성된 것으로 판단된다.

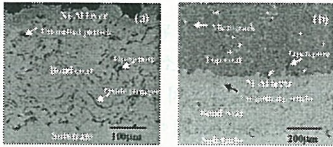


Fig. 1. Morphologies in cross-section of aluminized bond(a) and top coat(b) coated IN713LC

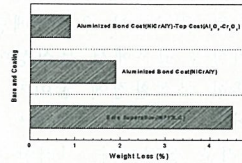


Fig. 2. Weight loss of tested specimens corroded at 675°C for 216h.

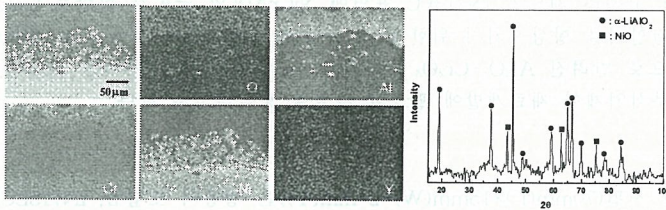


Fig. 3. Cross-sectional SEM image, elemental distribution and XRD pattern of aluminized NiCrAlY coated IN713LC corroded at 675°C for 216 h.

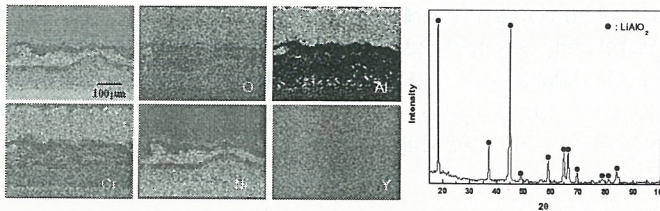


Fig. 4. Cross-sectional SEM image, elemental distribution and XRD pattern of aluminized NiCrAlY-Al₂O₃-Cr₂O₃ coated IN713LC corroded at 675°C for 216 h.

감사의글: 이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다. (연구과제 관리코드: M20703030001-08M0303-00110)