

**가스터빈 엔진부품용 NiCoCrAlY-(Ta, Re, Ir)코팅의 고온산화특성**  
**High Temperature Oxidation of NiCoCrAlY-(Ta, Re, Ir) Coating for Gas Turbines**

이동복\*, 최정호  
 성균관대학교 신소재공학과

### 1. 서론

최근 연료효율을 향상시키기 위해 엔진가동온도가 증가됨에 따라 산업 발전용, 항공기용 가스터빈엔진의 고온연소 및 추진부에 사용되는 재료 등이 고온의 부식환경에 노출되어있다. 이런 환경속에서의 심각한 고온산화과 큰 회전응력하에서의 오랜 시간동안의 가동은 기계적 성질과 표면특성에 큰 영향을 미치게 된다. 고온부식환경에 노출된 엔진부품의 내구성과 신뢰성 향상을 위해 상업적으로 초합금 기지 표면에  $Al_2O_3$ 형성합금재인 MCrAlY(M=Fe, Ni, Co)내열코팅을 실시하여 고온 내식성을 향상시켜 수명, 효율을 증대시키고 있다.

### 2. 본론

본 연구에서는 가스터빈엔진 부품 코팅 기술을 확보하고 코팅층의 제조방법, 성분 및 조직에 따른 코팅재의 산화 특성을 조사하기 위해 Ni합금소재 (Hastelloy-X)표면에 NiCoCrAlY내열재를 고속염용사법(HVOF: High Velocity Oxy-Fuel)을 이용하여 (1~3%)의 (Ta, Re, Ir)합금원소가 첨가된 NiCoCrAlY내열재를 용사코팅하였다. 내열조성은 MCrAlY(M=Ni, Co)을 기본으로 하며, MCrAlY중 Cr은 내식성향상을 위해, Al은 내산화피막인  $Al_2O_3$ 를 형성하기 위해, Y는  $Al_2O_3$ 피막의 접착력향상을 위해 사용된다. 산화 실험은 대기중에서 전기로 및 TGA를 이용하여  $900^{\circ}C$ - $1100^{\circ}C$ 실시하였고, 반응생성물 및 산화된 시편은 XRD, SEM, EPMA를 이용하여 조사 분석하였다.

### 3. 결과

고속화염용사법을 이용하여 NiCoCrAlY코팅을  $900^{\circ}C$ - $1100^{\circ}C$ 에서 대기산화시켜 본 결과 다량의  $Ni_3Al$ 상과 Ni상이 미세하게 혼재되어 있었던 용사코팅층 표면에는 산화에 의해 불균일한 두께의 박리되기 쉬운 산화층이 형성되었으며, 내부산화물인  $Al_2O_3$ 가 존재하였다. 외부산화물의 주성분은  $\alpha-Al_2O_3$ 이었으며, 2차 산화물로  $CoCr_2O_4$ 이 어느정도 산화막에 섞여있었고, 특히 Al은 쉽게 산화되어 산화막에 다량 편석되려는 경향이 강하였으며, 산소 활성화 원소인 Y는  $Al_5Y_3O_{12}$ 을 형성하였다. 또한, Ta를 첨가한 NiCoCrAlY+Ta내열코팅의 경우, 다량의  $Ni_3Al$ 상과 소량의 Ni,  $Ni_3Ta$  및  $Cr_3Ni_2$ 상이 미세하게 혼재되어 있었던 용사코팅층 표면에는 산화에 의해 수  $\mu m$ 두께의 얇은 산화막이 형성되었다. 외부 산화물의 주 성분은  $\alpha-Al_2O_3$ 로서 산화 초기단계부터 쉽게 관찰되었으며, 산화가 진행됨에 따라서 부차적으로  $CoAl_2O_4$ ,  $Al_5Y_3O_{12}$ ,  $Ta_2O_5$  및  $Ta_2O_{2.2}$  들도 산화막내에 어느정도 혼재하였다. Re를 첨가한 경우에는 다량의  $Ni_3Al$ 상과 소량의 Ni 및  $Cr_3Ni_2$ 상이 미세하게 혼재되어 있었던 용사코팅층 표면에는 산화에 의해 수  $\mu m$ 두께의 얇은 산화막이 형성되었다. 외부 산화물의 주 성분은  $\alpha-Al_2O_3$ 로서 산화 초기단계부터 쉽게 관찰되었으며, 산화가 진행됨에 따라서 부차적으로  $CoAl_2O_4$ ,  $CoCr_2O_4$  및  $Al_5Y_3O_{12}$  들도 산화막내에 어느정도 혼재 생성되었으며, 가장 귀한(noble) 원소인 Re는 X선 회절시험에서 검출될 정도로 산화되지 않았다. 또한 Ir을 첨가 시킨 경우 고속화염용사법은 코팅내의 기공과 산화물의 발생을 억제하는 우수한 용사법이였다. Ir을 첨가 시킨 경우 다량의  $Ni_3Al$ 상과 소량의 (Ni,  $Cr_2O_3$ )상이 미세하게 혼재되어 있었던 용사코팅층을 산화시켰을 때 Al은

쉽게 산화되어  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 로 우선적으로 생성되었으며, 부차적으로 ( $\text{CoCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$ ) 스피넬들도 산화막내에 어느 정도 혼재하였다. NiCoCrAl+Ir 코팅내의 Ir은 상대적으로 귀하여 쉽게 산화되지 않았고 그 양도 작아서, 산화막 보다는 내열코팅쪽에 미약하게 존재하였다. 마지막으로 고속화염용사법을 이용하여 NiCoCrAl+(Ta, Re) 내열코팅을 준비하여 대기산화시켰을때는 용사코팅층은  $\text{Cr}_3\text{Ni}_2$ ,  $\text{Ni}_3\text{Al}$ ,  $\text{Ni}_3\text{Ta}$ , Ni, NiO,  $\text{Al}_5\text{Y}_3\text{O}_{12}$  및  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 으로 구성되어 있었으며, 산화시켰을 때 Al은 쉽게 산화되어  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 로 우선적으로 생성되었으며, 부차적으로  $\text{Al}_5\text{Y}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CoCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  및  $\text{Ta}_2\text{O}_{2.2}$  들도 산화막내에 어느 정도 혼재하였다. Ta는 산화되어  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  및  $\text{Ta}_2\text{O}_{2.2}$ 로 되어 산화막내부에 존재하였으나, Ir은 상대적으로 귀하여 쉽게 산화되지 않았고, 산화막쪽에는 미약하게 존재하였다.

#### 참고문헌

1. M. Frances, M. Vilasi, M. Mansour-Gabr, J. Steinmentz, and P. Steinmentz, Mater. Sci. Eng., 88 (1987) 89
2. W. Brandl, D. Toma, and H. J. Grabke, Surf. Coat. Tech., 108-109 (1998) 10
3. M. Narumi, Z. Yu, H. Tarumi and T. Narita, Zairyo-to-Kankyo, 50 (2001) 466
4. D. Strauss, G. Muller, G. Schumacher, V. Engelko, W. Stamm, D. Clemens and W. J. Quaddakers, Surf. Coat. Tech., 135 (2001) 196
5. N. Czech, V. Kolarik, W. J. Quadackers, and W. Stamm, Surf. Eng., 13 (1997) 384
6. N. Czech, F. Schmitz, and W. Stamm, Surf. Coat. Tech., 76-77 (1995) 28
7. N. Czech, M. Juez-Lorenzo, V. Kolarik, and W. Stamm, Surf. Coat. Tech., 108-109 (1998) 36

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 2005년도 전력선행기술 과제(번호 R-2005-B-119)로 수행되었습니다.