

유도결합 플라즈마를 이용한 터빈 블레이드의 내산화 코팅기술개발에 관한연구

이 정 중
서울대학교 재료공학부

1. 서론

전력수요가 급증함에 따라 발전설비의 효율 및 용량의 증가와 함께 수명 연장에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 최근에 환경에 관한 관심이 높아지고 신도시 주거지역 근처에 세워지고 있는 복합화력 발전소로 인해 화력발전이 부각되고 있다. 화력발전소는 보일러, 터빈, 발전기 등의 주기와 열교환기, 펌프 등의 보조기기, 그리고 배관, 전기시설 등이 있는데 이들 시설의 손상 중 터빈에서의 블레이드에서 일어나는 손상이 가장 일반적이고 사고의 빈도 또한 높다. 터빈 블레이드는 기계적 손상과 부식피로, 응력 부식등의 부식에 의한 손상을 받게 된다. 이와 같은 터빈블레이드에서의 손상을 방지하기 위하여 모재에 내부식 내마모 코팅을 증착하는 방법이 주로 연구, 적용되어 왔다. 이때 증착되는 코팅층은 공극이 적은 매우 치밀한 조직을 가지고 있어야 하고 내식성이 강해야 하며 우수한 접착력을 필요로 한다. 본 연구진은 최근에 새로이 소개된 유도결합플라즈마(Inductively coupled plasma; ICP)[1-5]를 이용한 스퍼터링법을 통해 TiN의 증착에 대한 연구를 수행한 바 있다[6]. 그 결과 ICP 스퍼터링 공정으로 매우 치밀한 조직의 TiN을 얻었으며 제조된 TiN 박막이 높은 경도와 우수한 접착력을 갖고있음을 확인하였다. 경도의 경우 5000HK이상의 값을 얻었는데 이는 다른 문헌에서 보

고된 바가 없는 매우 높은 값이다. 또한 접착력은 임계하중이 약 40N이상으로 상업용으로 사용할 수 있는 수준까지 향상되었다. 따라서 본 연구에서는 ICP 스퍼터링법을 이용하여 터빈 블레이드의 표면에 내식, 내마모 보호 코팅으로 TiAlN 박막을 증착하여 제반 공정조건에 따른 코팅층의 물리적, 기계적 특성을 연구하였다.

2. 본론

가. 실험방법

본 실험에서는 유도결합 플라즈마를 이용한 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 TiAlN 박막의 증착을 수행하였다. 일반적인 평면형 마그네트론 스퍼터링 장치에 유도결합플라즈마를 발생시키기 위한 RFI coil을 삽입하였다. 스퍼터링 방식은 상방향 스퍼터링으로 타겟이 아래쪽, 기판이 위쪽에 위치한다. Ti Al alloy 타겟(순도=99.9%, 지름=2인치, Ti : Al = 50 : 50 at%)을 아르곤(Ar)과 질소(N₂)의 혼합기체 분위기 (작업 압력 : 80 mTorr)에서 스퍼터링을 하였다. 이 때 아르곤과 질소의 유량은 각각 10sccm, 2.5sccm으로 하였다. 타겟과 기판과의 거리를 10cm로 유지되도록 하였으며 타겟에는 직류전원공급장치를 이용하여 직류전원을 400W로 일정한 전력이 투입되도록 하였다. RFI coil에 인가하는 파워는 400W 로 일정하게 유지하였다. 기판에 걸어주는 기판바이어스전압을 0 V,

-50 V, -100 V 로 변화시켜 그 영향을 살펴보았다. 잔류가스의 영향을 최소화하기 위하여 증착 용기 내의 압력을 1×10^{-6} Torr 이하로 한 후 스퍼터링 가스를 공급하였다.

증착된 피막의 구조분석을 위하여 XRD와 TEM의 회절패턴을 이용하였고, 경도와 탄성계수는 각각 누프 경도계(Knoop hardness indenter)와 MTS nanoindenter II를 이용하여 측정하였다. 피막과 기판과의 접착강도를 측정하기 위하여 스크래치 시험법과 Rockwell C indenter를 이용한 압흔 시험법을 병용하였다. 피막층의 내마모특성을 관찰하기 위하여 ball-on-disk 형의 내마모 시험기를 이용하였다. 내식성 실험은 동전위 분극실험을 하였다. 이때 셀(cell)의 구성은 상대 전극에 탄소봉을 사용하였고 포화 칼로멜 전극(SCE : saturated calomel electrode)을 기준 전극으로 사용하였다. 부식액은 25°C의 0.8M의 NaCl 용액, 노출면적은 0.02cm^2 으로 하였으며 -500mV(vs SCE)에서 1500mV(vs SCE)까지 2mV/sec의 전압상승속도로 실험하였다.

나. 실험결과

기판에 흐르는 기판전류는 기판바이어스 전압이 증가할수록 증가하였다. 일반적으로 d.c. 마그네트론 스퍼터링법에서 기판전류는 음의 값(약 -100mA 내외)을 나타내게 된다. 이는 플라즈마에 의해 생성되는 이온들이 강한 자계를 지닌 타겟근처에만 머물게 되고 기판까지 날아가지 못한다는 것을 의미한다. 하지만 유도결합 플라즈마를 도입한 본 스퍼터링 법에서는 보조 플라즈마에 의해 이온 밀도와 이온 플럭스가 크게 증가하였고 또한 많은 이온이 기판까지 도달한다는 것을 높은 기판 전류를 통해 알 수 있다. 이때 형성되는 이온은 Ti^+ , Al^+ , Ar^+ , N^+ 등이다. 이러한 많은 이온들의 충돌에 의해 형성된 박막은 기존의 증

성 원자들의 충돌에 의해 형성된 박막보다 다른 특성을 나타낼 것을 예상할 수 있다.

TiAlN 박막의 미소경도는 기판 바이어스 전압을 안걸어 주었을 경우 경도는 약 3500 kg/mm^2 를 나타내었다. 이는 문헌상에 보고되고 있는 일반적인 마그네트론 스퍼터링법이나 다른 방법으로 증착한 TiAlN 박막의 경도와 비슷하다[7-10]. 그러나 기판 바이어스 전압을 -50 V, -100V 로 증가시켜주면 박막의 경도는 6500 kg/mm^2 정도로 급격하게 증가하였다. 본 실험에서 얻어진 TiAlN 박막의 경도는 기존의 연구에서는 보고된 바 없는 매우 높은 값이라 할 수 있다. 이는 유도결합 플라즈마에 의해 형성된 많은 Ti^+ , Al^+ , N^+ 등의 이온들이 높은 에너지를 갖고 기판에 충돌하였기 때문이라고 생각된다.

TiAlN 박막의 탄성계수는 기판 바이어스 전압이 -50 V 일 때, 450 GPa 로 가장 높은 값을 나타내었다. -100 V 에서는 약간 감소하였으며 기판 바이어스를 걸어주지 않았을 때 350 GPa 내외로 가장 낮은 값을 나타내었다.

박막의 접착력 평가는 로크웰-씨(Rockwell-C) 압입자를 이용한 압흔시험법과 스크래치시험법을 통하여 이루어졌다. 기판 바이어스를 걸어주지 않은 시편의 경우, 압입자 주위에 박막이 떨어져 나가고 균열이 전파되는 양상을 확연하게 관찰할 수 있었고 -50 V의 기판 전압을 걸어주었을 경우에는 압입자 주위의 약 1/4 정도에서 약간의 크랙이 관찰되었지만 접착력이 많이 향상된 것을 알 수 있었다. -100 V의 경우 균열이 거의 발견되지 않았다. 따라서 기판 바이어스 전압이 증가할수록 TiAlN 박막의 접착력은 크게 향상됨을 확인할 수 있었다. 또한, -100 V에서 제조된 TiAlN 박막은 높은 경도를 가지고 있고 또한 접착력도 다른 시편보다 우수하기 때문에 가장 좋은 내마모성을 나타내었다.

TiAlN 박막의 X-선 회절 분석 결과 기판 바이어스를 걸어주지 않은 시편에서는 (111) 우선방위로 박막이 성장하고 있음을 관찰할 수 있었다. 그러나 기판 바이어스가 증가할수록 (111) 과 (200) 피크의 강도는 점점 낮아지고 그 대신 (220) 피크의 강도가 크게 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 일반적으로 TiAlN 박막의 우선방위로는 (111) 과 (200) 피크가 많이 보고되어지고 있다. 이러한 우선 방위의 변화 이유로는 본 실험의 증착 압력 (80 mTorr)이 기존의 스퍼터링법의 증착압력 (10 mTorr 이하)보다 현저하게 높다는 사실과 유도결합 플라즈마에 의해 생성되는 높은 에너지를 가진 많은 이온들의 충돌 효과에 기인한다고 볼 수 있다.

박막의 단면 형상을 관찰한 결과 기판 바이어스를 걸어주지 않은 시편의 경우 TiAlN 박막이 주상정 조직으로 성장하고 있음을 관찰할 수 있다. 기판 바이어스를 걸어주게 되면 주상정 조직이 파괴되면서 매우 치밀한 조직으로 성장하고 있다.

동전위 분극실험을 통해서 부식 양상을 관찰한 결과, TiAlN 박막이 코팅된 시편 모두 다 기판인 고속도강보다 월등히 우수한 내식성을 갖는 것을 확인할 수 있다. TiAlN 박막이 코팅된 시편은 약 0.8 V의 전위에 도달할 때까지 부동태 영역이 일정하게 형성되어 기판을 보호하고 있음을 알 수 있다. -100 V에서 제조된 시편의 부식 전위가 가장 높게 나타났으며 부동태 영역에서의 전류 밀도도 가장 적게 나타났다.

3. 결론

1. TiAlN 박막의 경도와 접착력은 바이어스 전압이 증가할수록 증가하였다. 특히, -50 V 이상에서는 6000 kg/mm² 의 매우 높은 경도를 나타내었다. 박막의 탄성 계수는 바이어스 전압이 -50 V 일 때 450 GPa로 가장 높은 값을 나타내었으며 바이어스 전압

을 걸지 않았을 때는 350 GPa을 나타내었다

2. 바이어스 전압의 증가에 따라 삼각 모양의 각진 결정립과 주상조직이 보다 원형 타입의 결정립과 치밀한 조직으로 변화하였다. 미세 조직의 변화가 경도 향상의 원인이라고 판단된다.

3. 바이어스 전압이 증가할수록 (220) 방위의 성장이 가속되었으며, 높은 증착 압력과 플라즈마 밀도의 향상에 우선 방위 변화의 원인이 있다고 판단된다.

4. TiAlN 박막이 코팅된 시편은 모두 기판보다 우수한 내부식 특성을 나타내었으며, 또한 기판 바이어스 전압이 증가할수록 내부식 특성이 향상되었다.

참고 문헌

1. S. M. Rossnagel and J. Hopwood, Appl. Phys. Lett. 63, 3285 (1993).
2. S. M. Rossnagel and J. Hopwood, J. Vac. Sci. Technol. B12, 449 (1994).
3. F. Cerio, J. Drewery, E. Huang, and G. Reynolds, J. Vac. Sci. Technol. A16, 1863 (1998).
4. J. Hopwood, Phys. Plasmas 5, 1624 (1998).
5. C. A. Nichols, S. M. Rossnagel, and S. Hamaguchi, J. Vac. Sci. Technol. B14, 3270 (1996).
6. J.W. Lim, H.S. Park, T.H. park, J.J. Lee, J. Vac. Sci. Technol. A18 (2) (2000) 524
7. C.T. Huang, J.G. Duh, Surf. Coat. Technol. 71 (1995) 259
8. B.Y. Shew, J.L. Huang, Surf. Coat. Technol. 71(1995) 30
9. I. Ikeda, H. Satoh, Thin Solid Films 195(1991) 99
10. B.F. Coll, R. Fontana, P. Sathrum, Mat. Sci. Eng. A140 (1991)816