

진공 플라즈마 용사공정에 의한 MCrAlY 코팅재의 음향방출 신호 특성 연구

박진효*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 이구현, 예경환(한국기계연구원)
김정석, 강명창(부산대 기계공학부)

A Study on Acoustic Emission Characteristics of MCrAlY Coated Material by Vacuum Plasma Spray Process

J. H. Park(Graduate School, PNU), J. S. Kim, M. C. Kang(Mechanical Eng. Dept., PNU)
K. H. Lee, K. H. Ye(Surface Eng. Dept., KIMM)

ABSTRACT

This paper is to investigate a crack for plasma sprayed MCrAlY coated material by acoustic emission method in 4-point bending test. The CoNiCrAlY is coated on Inconel-718 by vacuum plasma spray process. Micro-hardness measurement was conducted by means of Micro Vickers-hardness indenter. The porosity of coating layer was measured using a SEM and Image Analyzer. AE monitoring system is composed of PICO type sensor, a wide band preamplifier(40dB), a PC and AE DSP(16/32 PAC) board. The AE count, Hit and energy of coating specimens is measured according to coating thickness.

Key Words : Vacuum Plasma Spray(진공 플라즈마 용사), CoNiCrAlY, Acoustic Emission(음향방출), 4-Point Bending Test(4점 굽힘시험)

1. 서론

용사법은 각종 부품표면에 여러 목적의 용사재료를 충돌, 적층시켜 내마모, 내부식, 내열특성 등을 향상시켜 주는 표면처리법 중의 하나이며, 최근 용사 기술에 대한 관심이 세계적으로 높아지고 있고, 보다 신뢰성이 높은 피막형성을 목적으로 한 새로운 용사기술의 개발도 활발하게 진행되고 있다.

그 중에서 진공 플라즈마 용사법(VPS; Vacuum Plasma Spray)은 항공기 가스터빈의 고온, 고속의 연소가스에 노출되는 터빈날개 표면에 내산화성, 내식성, 내부식성을 개선하고 고효율을 목적으로 사용되고 있다. 용사재료는 MCrAlY(M은 Co and/or Ni)합금이 많이 사용되고 있으며, 최근에는 발전설비를 비롯한 산업분야에 널리 사용되고 있다.^{1,2}

또한, 열차폐 코팅(TBC; Thermal Barrier Coating) 제조 시 본드코팅(Bond Coating)으로 사용되고 있는 MCrAlY합금피막의 특성은 모재의 산화를 방지하고

세라믹 열차폐층이 모재에 잘 붙도록 하는 역할을 한다. 그러나, 외부로부터 하중을 받는 기계부품에 있어서 취성에 약한 세라믹층의 파손에 대한 평가는 쉽게 이루어질 수 있으나 MCrAlY 합금피막의 미세균열이나 박리 등의 파손에 대한 감시 및 관찰은 어려운 실정이다.^{3,4}

따라서, 본 연구에서는 CoNiCrAlY코팅재를 진공 플라즈마 용사공정에 의해 용사 두께를 달리하여 코팅을 실시한 후, 4점 굽힘시험(4-Point Bending Test)을 이용해서 CoNiCrAlY코팅재의 파손에 따른 AE(Acoustic Emission)특성에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 시험편

시험제작을 위해 진공 플라즈마용사공정에 사용한 용사 피막용 분말은 CoNiCrAlY를 사용하였다. 코

팅층의 AE특성을 평가하기 위한 모재는 Inconel-718이며, 시편형상은 길이 40mm, 폭 5mm, 두께 4mm로 하였다.

한편 용사작업 전의 전처리로서 사용한 블라스팅 조건은 Table 1에 나타내었고, Table 2는 용사분말의 조성 및 크기를 나타내었으며, 용사분말의 조성 및 크기는 Table 2에 나타내었다. 실험에 사용된 진공플라즈마 용사장치는 Fig. 1에 나타내었다.

또한, AE특성 측정을 위해 시편 두께는 50 μ m, 100 μ m, 150 μ m의 3종류로 준비하였다.

Table 1 Conditions of grit blasting process

Parameters	Condition
Distance	150mm
Grit	White Alumina
Blasting pressure	7kg/cm ²
Grit size	46 mesh
Roughness(Ra)	3.62 μ m

Table 2 Chemical composition and particle size of coating materials

Commercial Name	Composition					Average Particle Size
	Co	Ni	Cr	Al	Y	
72.26.1C CoNiCrAlY	Bal.	32	21	8	0.5	45 μ m

Table 3 Conditions of vacuum plasma spraying process

Working Pressure[mbar]	200
Plasma Arc current[A]	800
Primary Gas[SLPM]	55
Secondary Gas[SLPM]	6
Stand-off distance[mm]	300
Powder feeding rate[rpm]	1.0
Carrier Gas[SLPM]	3

2.2 피막특성 실험

CoNiCrAlY 코팅층의 기공(Porosity)측정은 코팅층 조직을 주사전자현미경(SEM)으로 촬영한 사진을 Image Analyzer(Image Inside Ver. 1.0)을 이용하여 측정하였다.⁵ 한편 코팅층의 미소경도는 Micro Vickers Hardness Tester로서 중량 200g 하에서 10번 측정하

여 평균값을 구했다.

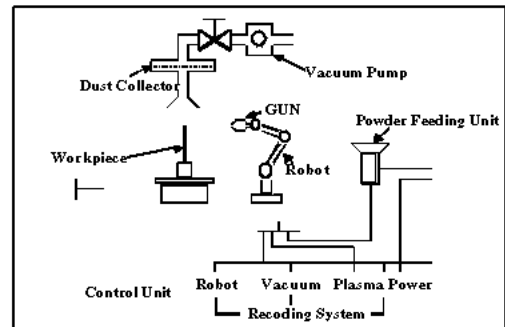


Fig. 1 Vacuum plasma spray coating system for CoNiCrAlY coating

2.3 AE실험

AE실험은 만능시험기(Instron 4206)를 이용하여 4점 굽힘시험(4-Point Bending Test)을 하였으며, 크로스헤드 이송속도는 0.3mm/min으로 하였다. 실험장치 구성은 Fig. 2와 같다. AE센서에서 감지된 신호는 전치증폭기에서 40dB 증폭하고 잡음을 줄이기 위해 100~1,200kHz의 대역여파를 한 후 AE DSP 16/32-[PAC]보드에 입력되었다. AE검출에 사용된 센서는 PICO Type[PAC]의 150kHz의 공진주파수 범위를 감지하는 압전형 변환기를 사용하였다. 총 이득(Gain)은 60dB이며, 문턱값(Threshold)은 40dB로 설정하였다. AE센서는 고감도이기 때문에 외부의 잡음에 대한 영향을 최소화되도록 안정된 환경을 조성하여 AE 신호를 계측하였다. AE인자로는 코팅층의 두께 변화에 따라 시간과 AE count값의 변화를 사용하였다. 또한, AE Hit와 Energy의 합도 확인하였다.^{6,7}

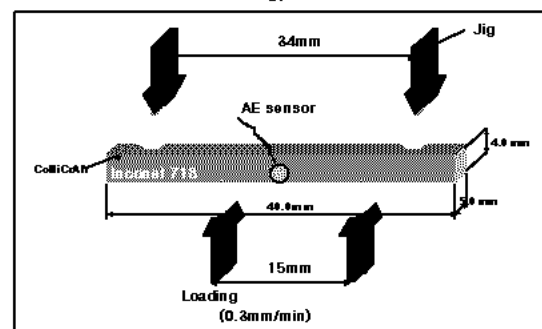


Fig. 2 Experimental setup for AE test

3. 실험결과 및 고찰

3.1 피막특성

3.1.1 기공(Porosity)

진공 플라즈마용사 공정에 의한 CoNiCrAlY 코팅층의 두께 150 μ m에서 대표적인 단면사진을 Fig. 3에

나타내었다. 피막내 기공이 거의 없는 치밀한 조직을 보여주었고, 기공률은 0.64%로 측정되었다.

또한, 코팅층의 두께 변화에 따른 CoNiCrAlY 코팅층의 기공률 변화를 확인한 결과 두께 50 μm 에서의 기공률은 0.68%, 100 μm 에서는 0.63%로 나타났었다.

따라서, 동일 용사조건에서 피막의 두께 변화에 따른 기공률은 비슷함을 알 수 있다.

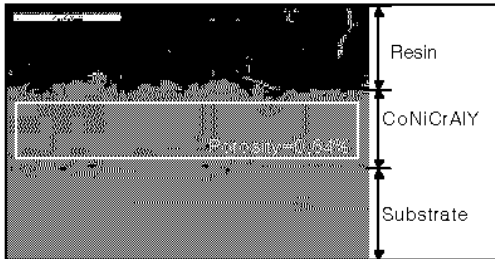


Fig. 3 SEM cross-section of CoNiCrAlY coating

3.1.2 경도(Micro-Hardness)

CoNiCrAlY 코팅층에서 두께는 50 μm (350HV), 100 μm (342HV), 150 μm (347HV)으로 증가하나 경도치에서는 특이한 경향을 볼 수가 없었다. 이는 코팅층의 두께 변화는 경도치에 영향을 주는 인자가 아니며, 용사조건 및 방법의 변화가 경도에 큰 영향을 끼칠 것으로 사료되어진다.

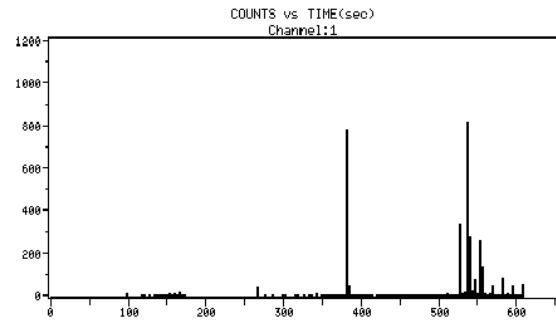
3.2 AE특성

CoNiCrAlY 코팅층 두께 변화에 따른 굽힘시험 시 AE Count값의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 코팅 두께 50 μm 은 시험시작 260초가 지난 후부터 AE count값이 증가하였고, 코팅 두께 100 μm 에서는 시험시작 250초가 지난 후부터 AE count값이 증가하였다. 반면 150 μm 의 경우에는 초기부터 AE count값이 많이 발생하였다.

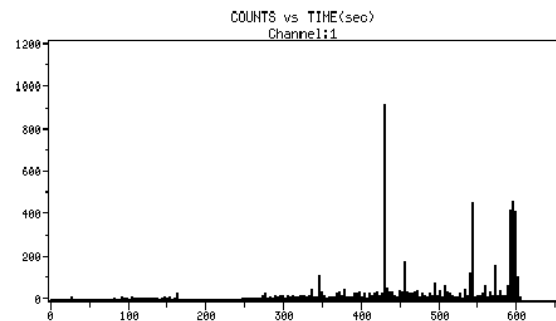
Fig. 5는 굽힘시험 후 코팅층 표면 및 단면을 주사형전자현미경으로 관찰한 것이다. 코팅층의 두께가 두꺼워질수록 코팅층에서 균열의 크기가 크게 나타났었다. Fig. 4의 AE Count값의 변화에서도 알 수 있듯이 코팅층이 두꺼울수록 굽힘시험 시 코팅층에서 응력집중현상에 따른 균열의 발생 및 성장에 의해 AE count값이 초기부터 증가하였고, 얇은 층에서는 균열의 발생 및 성장보다는 계면에서의 박리와 그에 따른 코팅층의 균열에 의해 AE count 값이 250초 이후에 증가하였다. 코팅층의 두께가 두꺼워질수록 계면 보다는 코팅층의 파손이 쉽게 일어나고, 코팅층의 두께가 얇을수록 코팅층보다는 계면에서 박리가 되는 경향을 보였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 AE hit와 energy의 합을 나타내었다. 코팅층의 두께가 증가할수록 AE energy와 AE hit는 증가하였다. 이는 코팅층의 두께가 증가할수록

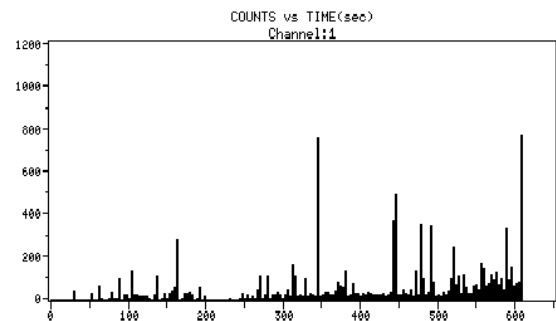
균열의 크기가 증가하고, AE 불발형신호의 횟수와 레벨이 증가하기 때문으로 사료된다.



(a) 50 μm

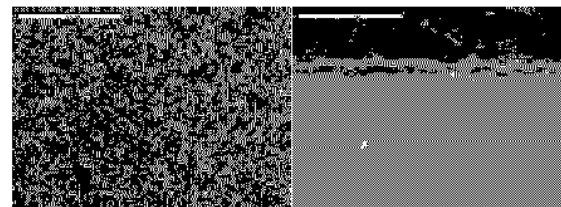


(b) 100 μm



(c) 150 μm

Fig. 4 AE count values depending on coating thickness



(a) 50 μm

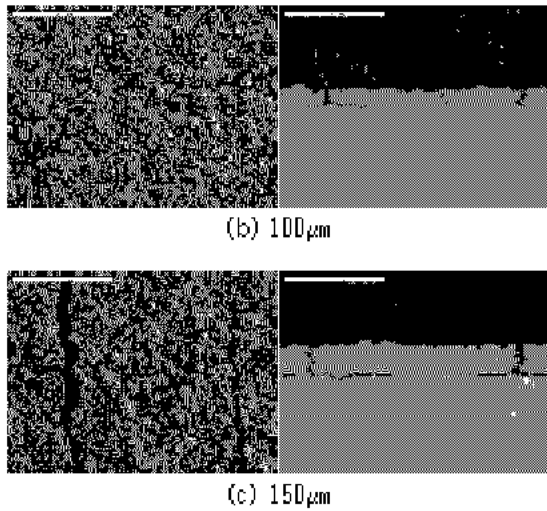


Fig. 5 SEM micrographs of fracture surface and cross-section after 4-point bending test

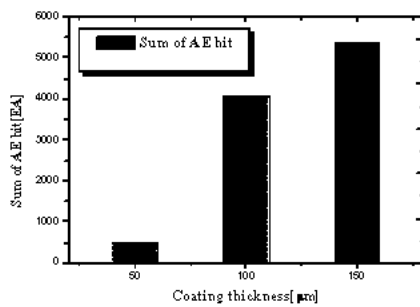


Fig. 6 AE hit depending on coating thickness

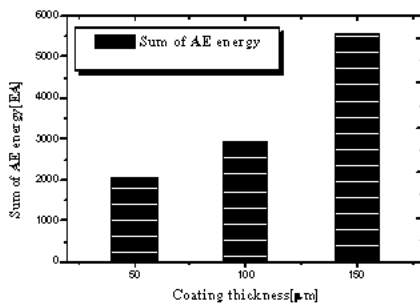


Fig. 7 AE energy depending on coating thickness

4. 결론

진공 플라즈마 용사공정에 의한 CoNiCrAlY 코팅재를 4점 굽힘시험 및 AE법에 의하여 결함을 측정

한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 진공 플라즈마용사 공정에 의한 CoNiCrAlY 코팅층은 기공이 거의 없는 치밀한 조직이고, 기공률은 0.63~0.68% 범위 내에서 측정되었다.
- 2) CoNiCrAlY 코팅층의 두께 변화에 따른 경도 값은 342~350[Hv]으로 거의 동일하였다.
- 3) CoNiCrAlY 코팅재에서 피막의 박리 시기는 AE count, AE hit 및 AE energy 등의 AE 신호 분석을 통하여 측정이 가능하며, 이들 AE 신호는 피막의 박리 및 균열이 발생하는 구간에서 급격히 증가한다.
- 4) 코팅층의 두께가 증가할수록 균열의 크기가 증가하고, AE 돌발형신호의 횟수와 레벨이 증가하면서 AE hit와 energy합이 증가한다.

참고문헌

1. Diana Toma, Waltraut Brandl and Uwe Köster., "Studies on the transient stage of oxidation of VPS and HVOF sprayed MCrAlY coatings," Surface and Coatings Technology, Vol. 120-121, pp.8-15, 1999.
2. Elizabeth J. Young, Eli Mateeva, Hohn J. Moore, Brajendra Mishra, Michael Loch, "Low pressure plasma spray coatings," Thin Solid Films, Vol. 377-378, pp.788-792, 2000.
3. X. Q. Ma, S. Cho. M. Takemoto., "Acoustic emission source analysis of plasma sprayed thermal barrier coatings during four-point bending tests," Surface and Coatings Technology, Vol. 139, pp.55-62, 2001.
4. Y. C. Zhou, T. Tonomoni, A. Yoshida, L. Liu, G. Bignall, T. Hashida, "Fracture characteristics of thermal barrier coatings after tensile and bending tests," Surface and Coatings Technology, Vol. 157, pp.118-127, 2002.
5. Test Methods for Determining Area Percentage Porosity in Thermal Sprayed Coatings, ASTM E2109-01
6. Smith Jr., D. R., and Carpenter, S. H., "Identification of Crack Propagation Modes in 304 Stainless Steel by Analysis of Their Acoustic Emission Signatures," Journal of Acoustic Emission, Vol. 7, No. 3-4 pp.9-19, 1994.
7. 최만용, 박익근, 한응교, "초음파 현미경 및 AE에 의한 결함 측정," 한국정밀공학회지, 제8권, 제4호, pp. 118-125, 1991.